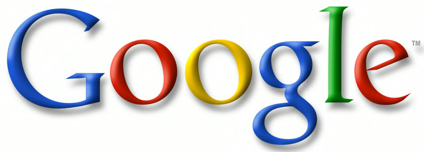


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

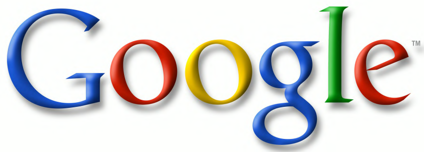
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

University of Wisconsin
Library

CLASS SVR

BOOK C81
2



LES PORTS MODERNES

COURBEVOIE

IMPRIMERIE E. BERNARD ET Cie

14, RUE DE LA STATION, 14

BUREAUX A PARIS, 29, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS

LES

PORTS MODERNES

PAR

C. de CORDEMOY

Ingénieur des Arts et Manufactures

DEUXIÈME VOLUME



PARIS

E. BERNARD ET Cie, IMPRIMEURS-ÉDITEURS

29, Quai des Grands-Augustins, 29

—

1900

62159
MAR 7 1902
SVR
.C81
2

CHAPITRE XXIII

PROCÉDÉS D'EXÉCUTION

Les travaux maritimes nécessitent l'emploi des procédés d'exécution communs à toutes les constructions ; mais il en est aussi de spéciaux qui valent d'être exposés avec quelques détails.

Ils s'appliquent aux ouvrages extérieurs ou intérieurs des ports. Bien que nous n'ayons pas encore abordé l'étude de ces derniers, il est difficile, sans tomber dans des redites, de les examiner séparément. Dans le chapitre actuel, il sera donc également question des bassins à flot, écluses, bassins de radoub, qui ne seront étudiés que dans les pages suivantes.

L'exécution des travaux maritimes diffère beaucoup selon qu'on travaille dans un port avec ou sans grande marée. Parfois la mer se retire assez pour que l'ouvrage puisse être exécuté à sec à la basse mer, c'est ce qu'on appelle travailler à la marée. On se hâte d'édifier tout ce qui peut être fait durant les deux ou trois heures d'assèchement, on recouvre s'il le faut la portion fraîchement construite d'une couche de ciment à prise rapide, qui sera enlevée à la prochaine séance de travail et l'on avance ainsi peu à peu.

Mais les pays à grande marée sont l'exception. Même en Angleterre et en France, il n'y a que quelques points où le travail complet à la marée soit possible. Hors de ces pays, on ne rencontre de grandes amplitudes qu'à la baie de Fundy et aux abords du détroit de Magellan, du côté de l'Atlantique. Partout ailleurs les marées de 4 à 6 mètres sont un maximum encore fort rare ; la très grande généralité des mers ne présente guère dans leurs niveaux que des différences qui varient de quelques centimètres à deux mètres.

Les procédés utilisables dans les mers sans marées sont donc les plus importants à connaître.

BATARDEAUX

Un batardeau est un mur provisoire étanche, destiné à enclore une enceinte d'où l'eau est épuisée et où s'établissent des fondations. En principe, il se compose de terre imperméable, surtout d'argile; mais celle-ci ne se rencontre généralement pas à proximité des travaux maritimes; et alors, par économie, on emploie souvent les déblais eux-mêmes de la fouille, terre ordinaire, vase, sable, dont l'imperméabilité est suffisante sur une grande épaisseur; la tourbe aussi a été utilisée, mais elle ne peut être admise qu'à défaut d'autre matière.

Précautions. — Les matériaux doivent être triés. Les sables, la terre, la vase sont débarrassés des pierres, des branchages; l'homogénéité est une des conditions de l'imperméabilité, car autrement l'eau s'infiltre partout où se produit une fissure par suite de l'irrégularité de tassement.

La terre argileuse est généralement battue et comprimée. Le sable et le sable vaseux sont projetés en masse, d'une certaine hauteur, afin que par leur poids et le choc ils pénètrent dans la vase qui recouvre ordinairement le fond des fouilles. Un dragage préalable enlevant toute matière perméable est d'ailleurs de bonne précaution, s'il est possible.

Suivant les circonstances, la construction des batardeaux est très variable. La description d'un certain nombre de ceux qui ont été établis servira de guide dans les cas analogues.

a. — BATARDEAUX EN CHARPENTE

Cherbourg. — Le batardeau représenté par la figure 1 est un

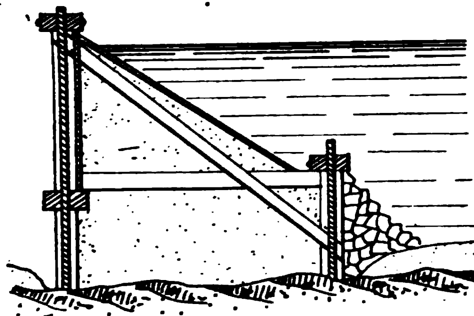


Fig. 1. — Batardeau de Cherbourg.

des plus simples; il n'avait à supporter qu'une pression de trois mètres

d'eau dans les fouilles du port de commerce de Cherbourg. Deux rangées de pieux avec palplanches jointives, de hauteurs différentes et reliées par des tirants et des écharpes, constituaient un coffrage dans lequel était pilonnée de l'argile mêlée à du foin. Le pilonnage s'effectuait par couches de 20 à 30 *cm*, bien arrosées.

Dublin (fig. 2). — Ce batardeau a été établi pour démolir un ancien quai et en édifier un nouveau. Il se composait de deux rangées de pilots, espacés de 3,60 *m*, longs de 10,60 *m* dans la rangée extérieure et 13 mètres dans l'intérieure, réunis par des palplanches.

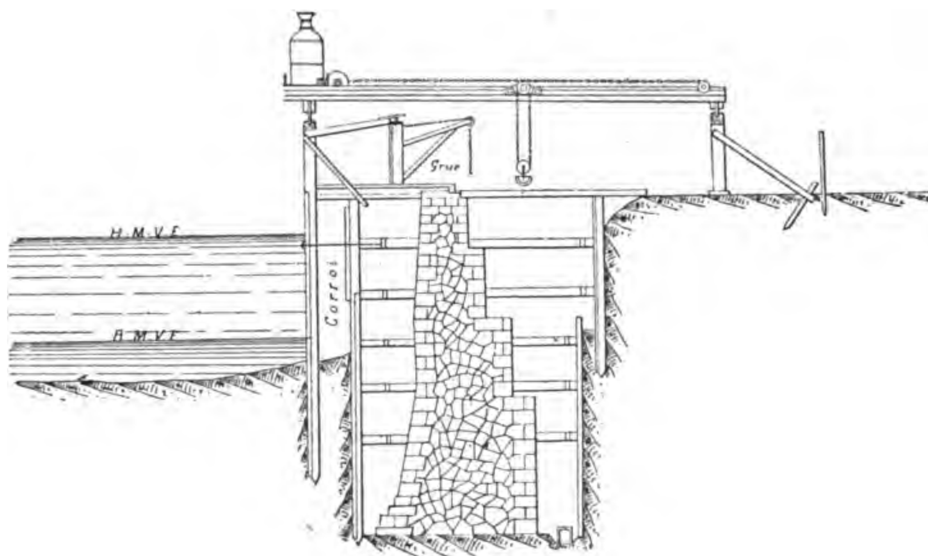


Fig. 2. — Batardeau de Dublin.

Le coffrage entre les rangées, large de 1,35 *m*, était rempli d'argile corroyée. On exécutait les fouilles en étayant solidement à mesure. Les étais, enlevés au fur et à mesure de la construction de la maçonnerie, étaient remplacés par d'autres plus courts, appuyés contre le mur de chaque côté.

Halifax. — Le bassin de radoub d'Halifax est édifié sur le roc dur où il était impossible d'enfoncer des pieux. Après dragage, la surface du rocher fut soigneusement nettoyée et des chalands y versèrent sur une

épaisseur de trois mètres de l'argile compacte destinée à créer un sol artificiel. Ce massif reçut deux rangées de pilots espacés de deux mètres, avec palplanches; dans l'enceinte ainsi constituée, l'argile fut pilonnée avec force. Il ne se manifesta aucune infiltration.

Rio de Janeiro (fig. 3). — Le sol sur lequel est établi le bassin de radoub est également rocheux et ne permettait pas l'enfoncement des pieux. Le procédé employé fut tout différent. On construisit à faux frais un échafaudage de la forme du bouclier qui devait servir de batardeau; sur ce modèle on releva les profondeurs exactes et les palplanches furent découpées en conséquence.

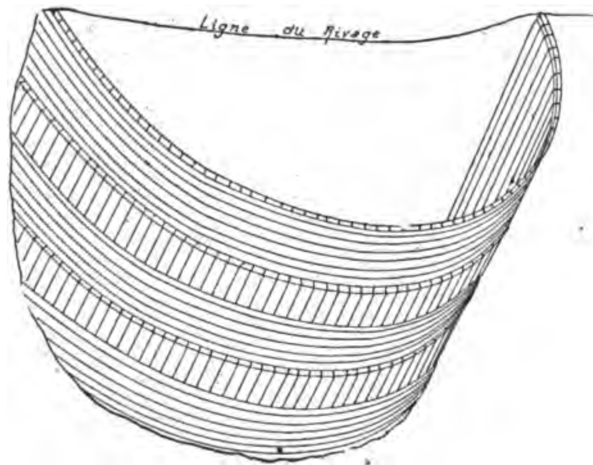


Fig. 3. — Bouclier de Rio-Janeiro.

Le bouclier, construit à terre, comprenait à sa partie supérieure deux rangées de planches et le nombre en augmentait progressivement jusqu'à six du sommet à la base. L'ensemble posa parfaitement sur le rocher et l'enceinte resta étanche.

Bassin de radoub Hamilton, Malte. — Les murs de ce bassin sont fondés sur du roc recouvert d'une épaisse couche de vase. La difficulté de se procurer de l'argile convenable, d'enfoncer les pieux et de les entretoiser à la base à cause de la boue et de l'absence de marée conduisit à former le batardeau d'une simple rangée de palplanches constituées par des pièces de 30 *cm* d'équarrissage, dont les faces en con-

tact étaient dressées à la scie. Leur descente était guidée par des listons cloués sur les bords. L'étanchéité a été parfaitement obtenue.

Les murs ont été construits entre deux batardeaux semblables, espacés de 8,50 *m.*

Le même système a été employé pour le batardeau qui ferme l'entrée. Les bois ont été mis à l'abri des ravages du taret par une couche de 20 millimètres d'épaisseur de ciment. Un bordage en planches clouées sur des listons formait de chaque côté du batardeau un espace dans lequel se versait le coulis.

Avonmouth. — Pendant la construction du bassin à flot d'Avonmouth, le batardeau qui devait résister à l'énorme pression de la marée en cette localité, fut construit avec les matériaux de la fouille, comme il sera indiqué ci-dessous pour d'autres ouvrages. Quand il fallut l'enlever on protégea l'entrée de l'écluse par une sorte de caisson en bois appuyé contre une retraite de la maçonnerie ménagée pour l'établissement ultérieur d'une échelle. Cette construction supportait une charge d'eau de 13,50 *m.*

Amsterdam (fig. 4). — Le batardeau employé pour fermer l'Y à l'est d'Amsterdam est un arc de cercle de 80 mètres de rayon consistant en deux rangées concentriques de pieux laissant entre elles un coffrage de deux mètres pour la terre glaise. La pression était supportée par un contrefort intérieur de sable. Les pieux en pin de Dantzig étaient jointifs.

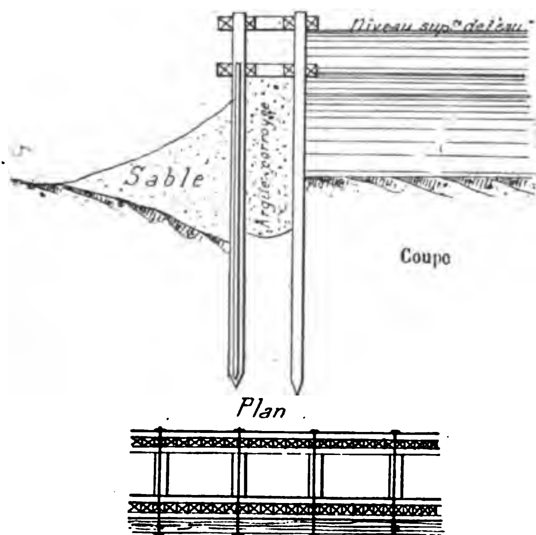
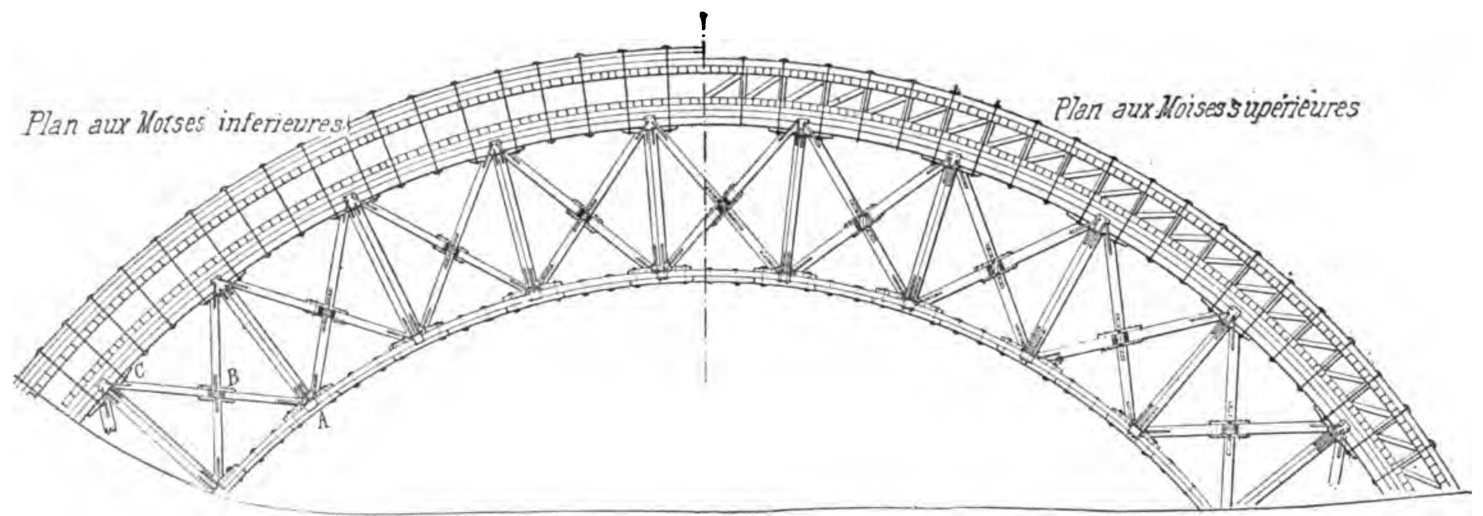
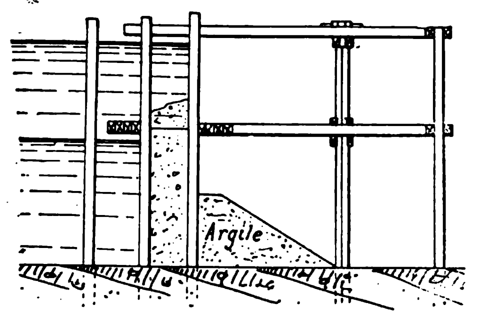


Fig. 4. — Batardeau du canal d'Amsterdam.

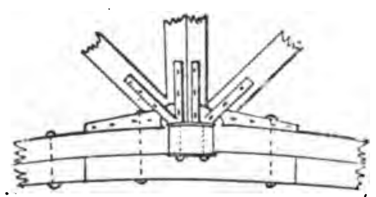
Le défaut de cette construction résidait dans l'emploi de boulons de renfort qui déterminèrent des fuites ; mieux eût valu ne réunir les pieux qu'à leur partie supérieure et réduire l'épaisseur du coffrage.

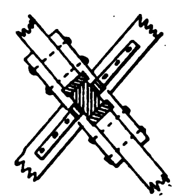


Plan.



Coupe.





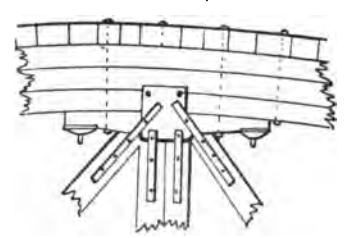


Fig. 5. — Batardeau de Portsmouth.

Portsmouth. — Les travaux d'agrandissement de l'arsenal de Portsmouth (1867-1880) comprenaient :

Cinq bassins de radoub.

Deux écluses.

Trois bassins à flot et un bassin de marée.

L'emplacement de ces ouvrages a été pris sur la portion du hâvre de Portsmouth connue sous le nom de Fountain Lake. Le fond composé de vase était en moyenne à 2 mètres au-dessus des basses mers, l'amplitude de la marée étant d'environ 4,10 *m*. La surface du fond vaseux n'est pas unie.

Les ouvrages ont été construits à l'abri d'un double batardeau général ; un intérieur, établi sur les hauts fonds, l'autre extérieur, par des profondeurs un peu plus considérables.

Le premier se composait d'une simple rangée de pieux-palplanches de 9 mètres de longueur dont la tête s'élevait de trois mètres au-dessus du fond et simplement enfoncés dans la couche molle. Un double cours de moises les réunissait à la surface de la vase et un peu au-dessous de leur sommet. Deux entretoises, l'une horizontale, l'autre inclinée, les appuyaient tous les trois mètres contre d'autres pieux fixés solidement dans le sous-sol dur, à 6 mètres de distance des premiers.

A un mètre en avant de ceux-ci des madriers formaient encore palplanches ; entre eux et le véritable batardeau, on creusait une rigole de 1,20 *m* de profondeur qui était remplie d'un corroi d'argile, après calfatage des joints des pieux-palplanches.

Le batardeau extérieur a été établi à peu près de la même manière ; mais dans la seconde rangée également les madriers sont remplacés par des pieux jointifs.

L'eau de l'un des bassins, pendant qu'on en démolissait une portion du mur pour y établir un passage, a été contenue par un batardeau circulaire de 50 mètres de rayon établi d'après les mêmes principes, mais dont le contreventement avait été soigneusement étudié. Deux rangées seulement d'entretoises d'appui (fig. 5) à un niveau un peu supérieur l'une à celui de basse mer, l'autre à celui de haute mer, ont suffi pour faire équilibre à la pression de dix mètres d'eau.

Esquimalt, Colombie anglaise. — La figure 6 indique le mode de construction employé au bassin de radoub d'Esquimalt, qui est un des points d'appui de la flotte anglaise. La structure en est bien

conçue, sauf les boulons d'entretoisement, qui auraient pu et dû être supprimés.

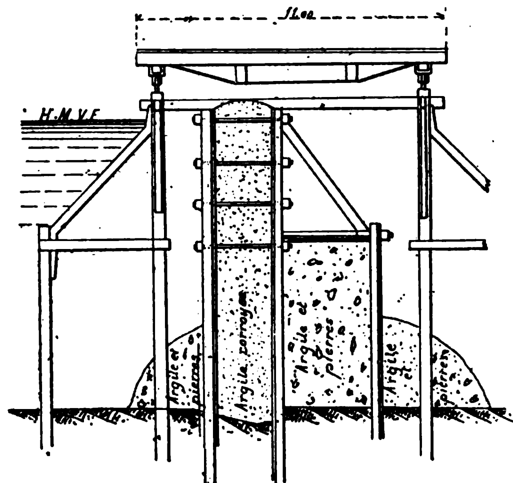


Fig. 6. — Batardeau d'Esquimalt.

Alexandra Dock, Hull (fig. 7). — Placé à l'entrée des fouilles du bassin devant l'Humber, le batardeau formait un arc de cercle de 78 mètres de rayon et 143 mètres de longueur. Il se composait de deux rangées de pieux espacés de 1,80 *m*, enfoncés dans le sol à 10 mètres de

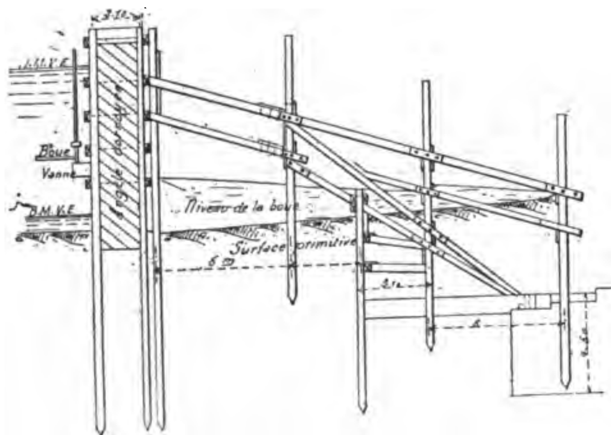


Fig. 7. — Batardeau d'Alexandra Dock, Hull.

profondeur et garnis de palplanches. Durant la construction cinq vannes étaient ménagées pour permettre le jeu de la marée jusqu'à fermeture complète. La liaison des extrémités avec les rives sur lesquelles elles s'appuyaient était rendue étanche par une couche d'argile. La figure

indique la complexité des pièces d'appui, nécessitée par les difficultés rencontrées.

Tancarville (fig. 8). — Ce batardeau a été construit pour séparer de la Seine la portion de l'anse de l'Eure où ont été construits les ouvrages d'art du canal de Tancarville. Il est constitué par une estacade en charpente composée de deux lignes de pieux reliés par des moises

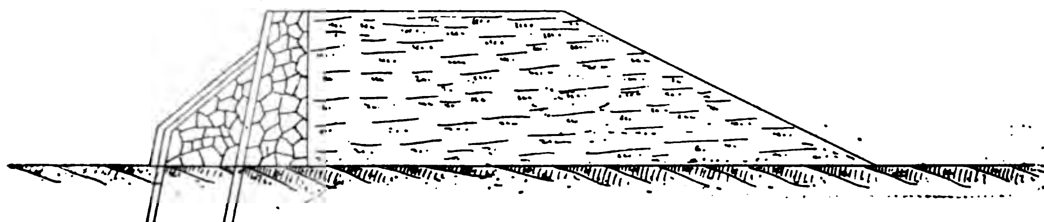


Fig. 8. — Batardeau du canal de Tancarville.

inclinées à 45°, sur lesquelles est cloué un bordé jointif. En arrière de l'estacade un mur en enrochement contient une digue de terre, large de 10 mètres au sommet arasé à la cote + 9,40 *m*. La terre provenait des fouilles du garage du canal.

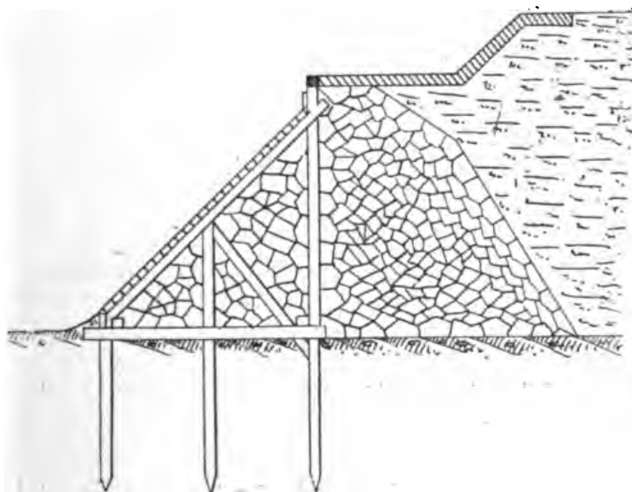


Fig. 9. — Estacade du bassin Bellot.

Bassin Bellot. — La figure 9 indique le mode de construction du batardeau qui séparait les deux darses du bassin Bellot et a permis

de construire à sec la darse de l'ouest. La figure 10 est celle du batardeau de la digue Saint-Jean.

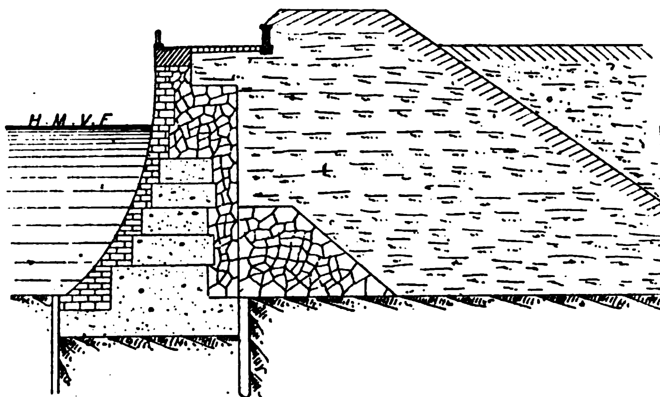


Fig. 10. — Batardeau de la digue Saint-Jean. Le Havre.

b. BATARDEAUX CONSTRUITS AVEC LES DÉBLAIS DES FOUILLES

Chatham. — La figure 11 indique la manière dont a été fermée l'entrée de la crique de Sainte-Marie pendant la construction des quais des nouveaux bassins de ce port militaire. Les produits des fouilles,



Fig. 11. — Batardeau de Chatham.

gravier et terre glaise, étaient déposés sur la vase et s'y enfonçaient en formant une barrière étanche.

Ecluse Freycinet, Dunkerque (fig. 12). — Cette écluse avait été isolée des darses par un massif de sable qui, du côté intérieur, présentait un talus de 2 pour 1, protégé par une couche de terre argileuse recouverte d'un perré. Les bassins terminés et remplis (lentement, en

quatre mois, par précaution), l'eau suinta néanmoins à travers le remblai et délava le talus non protégé du côté des fouilles ; on arrêta les dégradations en drainant par des tuyaux verticaux qui ramenèrent l'eau au pied du batardeau.



Fig. 12. — Batardeau de Dunkerque.

La largeur du remblai en couronne était de 7 mètres.

Barry. — Le port de Barry, situé sur le canal de Bristol, où l'amplitude de la marée dépasse 12 mètres, a été creusé à l'abri d'un batardeau composé seulement de terre projetée du haut d'un échafaudage qui reliait la terre ferme à l'îlot de Barry. Le barrage fut commencé par les deux extrémités; mais quand il ne resta qu'une trentaine de mètres à fermer, les courants devinrent trop violents et entraînaient le dépôt. Il fallut battre des palplanches entre des moises supportées par des pieux et combler par derrière avec des enrochements qui permirent l'établissement du remblai de terre. On avait eu soin de placer dans le barrage un tuyau de fonte d'un mètre de diamètre, destiné à l'écoulement de l'eau intérieure pendant la basse mer. Aussitôt que la mer remontait, on fermait le tuyau. La vidange ne fut achevée qu'au bout de plusieurs jours.

Saint-Nazaire. — Les bassins de Saint-Nazaire ont été construits à l'abri d'une levée exécutée avec des vases prises à son pied. Elle a été d'une exécution difficile, mais a fini par très bien résister, avec un talus de 4 pour 1, revêtu d'un perré. La levée a été le noyau des terre-pleins sur lesquels on a élevé des cavaliers qui servent à la fois de fortifications et d'abris contre le vent.

Calais. — La majeure partie des nouveaux travaux exécutés à Calais, le bassin des chasses et son écluse, l'avant-port, les écluses du bassin à flot et une partie de ce dernier ont été construits sur le sable fin de la plage elle-même (fig. 13).

On a utilisé comme batardeaux les premiers remblais effectués dans

l'emplacement même des terre-pleins et des murs définitifs, et l'importance des remblais provisoires a été ainsi beaucoup réduite. Le principal batardeau, appelé digue du large, est indiqué par la figure 14.

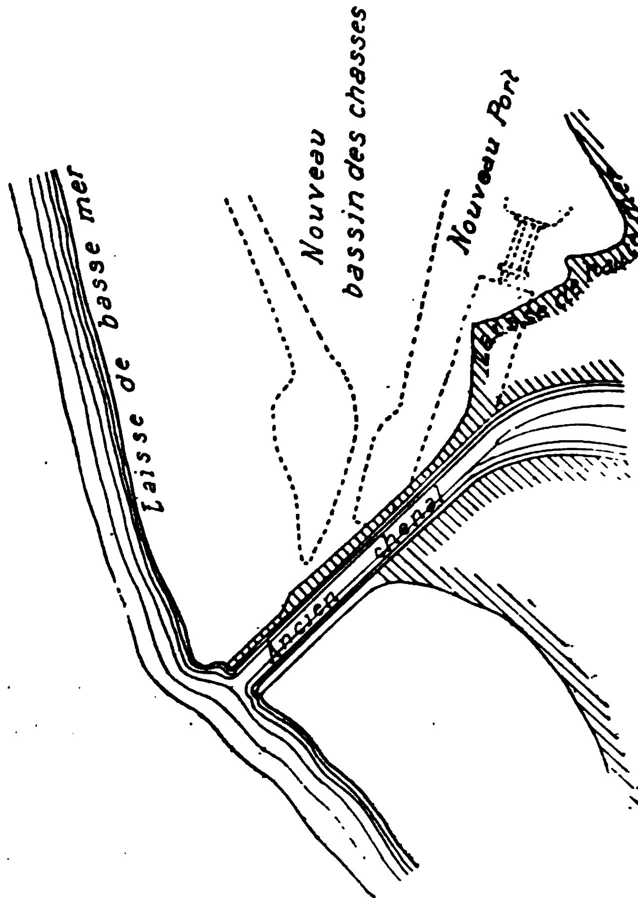


Fig. 13. — Plan des anciens et nouveaux ouvrages de Calais.

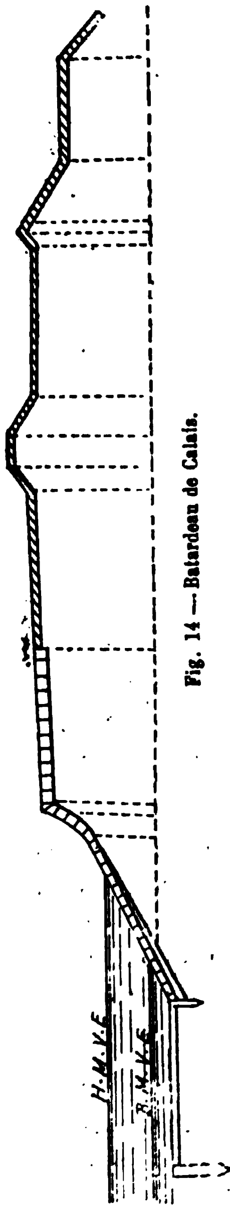


Fig. 14 — Batardeau de Calais.

Ce profil est celui qui a été adopté définitivement, après une rupture survenue pendant une marée extraordinaire d'équinoxe et qui avait occasionné une brèche de 100 mètres.

L'épaisseur du batardeau était de 35 mètres; la crête du revêtement en maçonnerie était à 3,50 *m* au-dessus des plus hautes marées. Le dessus du terre-plein se réglait suivant une pente de $\frac{1}{10}$ dont la base était formée par le sommet du talus maçonné. Sur une largeur

de 10 mètres en arrière de la crête de ce talus, pour mieux résister aux paquets de mer, on recouvrit le remblai d'un pavage en maçonnerie de blocailles, prolongé sur le reste de la largeur du terre-plein par un corroi en argile de 25 à 30 *cm* d'épaisseur. A 30 mètres environ du sommet du perré une banquette gazonnée de 1,50 *m* de hauteur formait un dernier obstacle au déversement des eaux vers l'intérieur de la fouille. Enfin, dans la partie la plus exposée on construisit une berme en maçonnerie de 10 mètres de largeur, suivant à peu près l'inclinaison de la plage.

c. BATARDEAUX EN BÉTON

Marseille [1]. — Les cales de radoub de Marseille ont été construites sur dix hectares qu'on avait séparés de la mer par un batardeau en béton d'un kilomètre de longueur. Une lacune avait été laissée devant la passe d'entrée, qui a été fermée par un batardeau en argile.

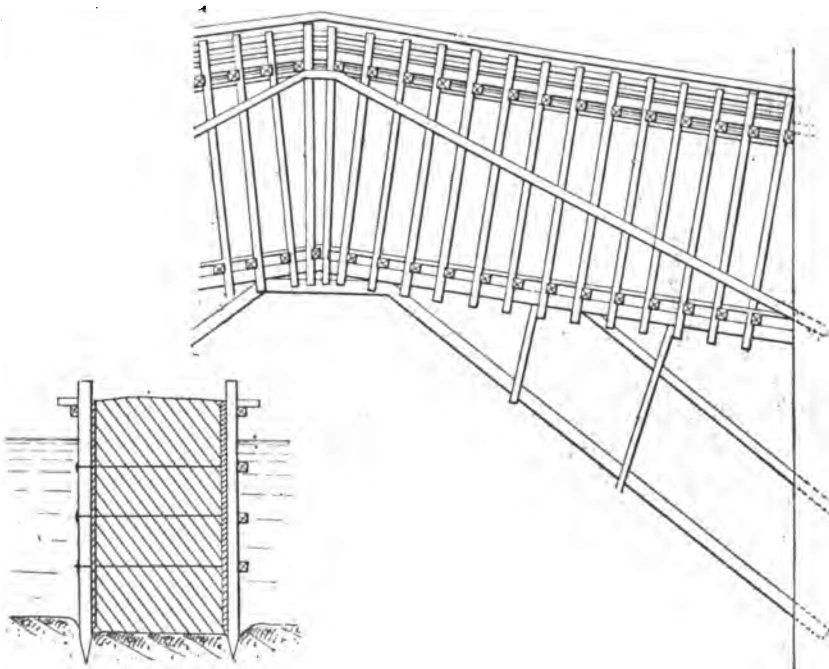


Fig. 15. — Marseille. Coupe du batardeau en argile.

Fig. 15. — Marseille. Charpente du batardeau en argile.

(1) Les renseignements et les figures sont empruntés à l'ouvrage de M. Sébillotte, *Bassins de radoub de Marseille*, où les détails les plus complets sont donnés sur ces travaux.

Batardeau d'argile (fig. 15). — Il se composait de deux branches

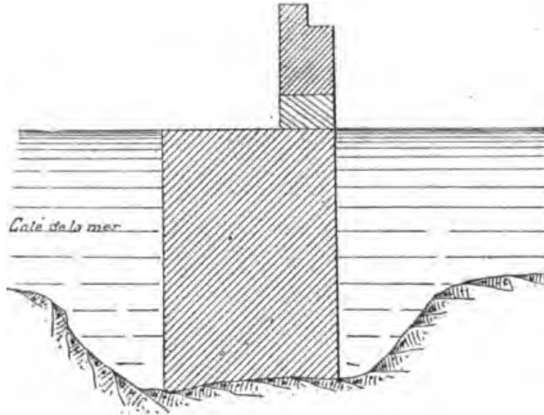


Fig. 16. — Marseille. Batardeau en béton.

inclinées l'une sur l'autre et s'appuyant sur les bajoyers de la passe. Les dessins indiquent le mode de construction. L'argile était pilonnée

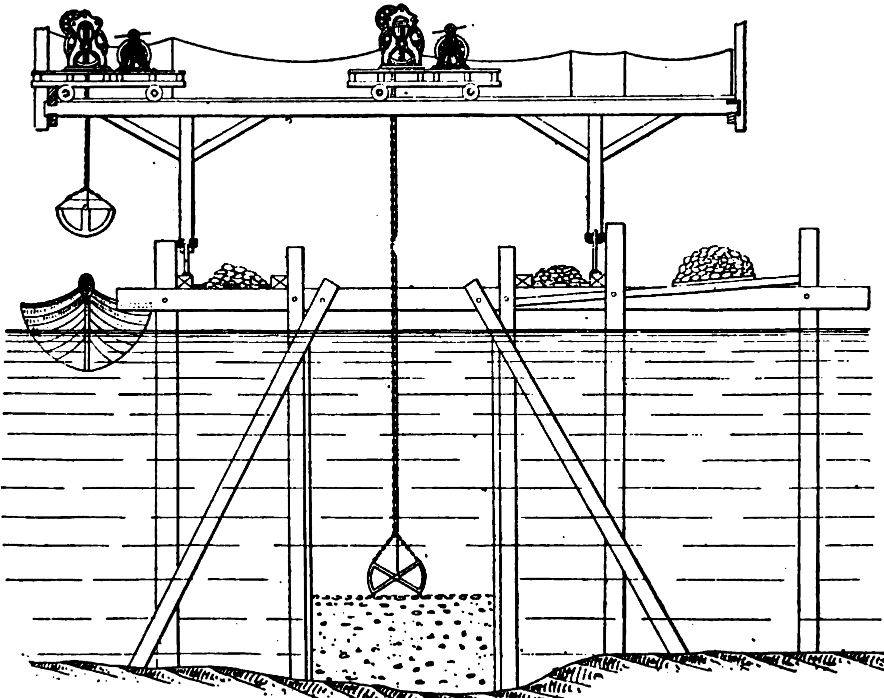


Fig. 17. — Marseille. Immersion du béton.

dans un coffrage en charpente de 5 mètres de largeur; la hauteur du batardeau étant de 9 mètres, le rapport était donc de 0,55.

Le batardeau en béton (fig. 16) est formé d'un massif de béton arasé au niveau de la mer et surmonté d'une muraille d'un mètre d'épaisseur et 2,40 *m* de hauteur ; plus tard elle a formé la partie postérieure des murs de quai, sur les points où le massif correspondait à l'emplacement des bassins.

L'épaisseur du barrage en béton était des 0,45 de la hauteur. Il était coulé dans un coffrage en charpente, composé de pieux verticaux enfoncés au mouton de 50 *cm* environ dans le terrain solide préalablement dragué et soigneusement nettoyé. Ces pieux de 30 *cm* d'équarrissage étaient distants de 2,50 *m*. Ils portaient à l'intérieur du coffrage, sur toute leur hauteur, une plaque de tôle de 25 *cm* de largeur, tenue à une distance de 8 *cm* de leur face par une tringle de cette épaisseur; plaque et tringle étaient reliées au poteau par des boulons (fig. 17). On peut aussi bien les clouer. Les palplanches horizontales qui complétaient le caisson étaient glissées entre les pieux et la plaque de tôle ; on rabotait la face-joint.

Les pieux sont consolidés par d'autres obliques, ainsi que l'indique la figure. Sur le coffrage ainsi constitué circulait une grue roulante destinée à l'immersion du béton.

Consolidation. — Pour augmenter l'étanchéité d'un batardeau en charpente, on peut y comprimer de l'argile. Un procédé simple consiste à enfoncer jusqu'à la profondeur voulue un tuyau métallique de 7 à 8 *cm* de diamètre, composé de tronçons se raccordant par une partie filetée ; l'enfoncement a lieu par les procédés ordinaires de sondage.

Dans ce tube on comprime des petits cylindres d'argile, longs de 30 *cm* environ, au moyen d'une longue tige de fer servant de piston et sur laquelle frappe le mouton d'une sonnette.

ÉPUISEMENTS

A l'intérieur des batardeaux et en général dans les fouilles qu'il faut maintenir à sec, l'établissement de pompes d'épuisement continu est nécessaire, car il est rare que le fond soit imperméable.

L'installation de ces appareils diffère beaucoup suivant l'importance de la fouille, l'afflux d'eau, la profondeur. L'afflux d'eau est une quantité qu'il est difficile de prévoir si ce n'est par analogie avec ce qui s'est passé dans des travaux déjà exécutés, selon la nature des terrains, etc., mais ce sont là des hypothèses souvent déçues. Quoiqu'il en soit, même lorsqu'on suppose ne rencontrer qu'une quantité minime d'eau, il est indispensable, pour assurer la continuité de l'épuisement, d'avoir un double jeu de pompes et de machines, afin de prévoir les cas de réparations. Afin d'être sûr du bon état des appareils, il est bon de les faire marcher alternativement pendant une semaine. Cette remarque s'applique d'ailleurs à la plupart des machines employées dans les ports.

Les appareils d'épuisement peuvent être de modèle quelconque ; mais les pompes centrifuges ont l'avantage de laisser passer plus facilement les corps étrangers rencontrés dans l'eau.

Le tuyau d'aspiration est placé dans un puisard descendu à un mètre au moins en contre-bas des fouilles. Dans les travaux de peu d'importance, le puisard est constitué par un cylindre en bois ou en métal de un à deux mètres environ de diamètre, dont le fond, ouvert pendant l'enfoncement, est fermé quand le cylindre est arrivé à son niveau (toujours provisoire jusqu'à la fin). L'eau pénètre par des trous ménagés dans le haut des parois ; elle est amenée par des rigoles d'assèchement de 50 *cm* au moins de profondeur, qui sillonnent les fouilles dans les directions où elles gênent le moins.

La descente du cylindre est déterminée par les procédés de havage qui seront ultérieurement décrits.

Le tuyau de refoulement des pompes doit être dirigé du côté où se rencontrera la moindre hauteur d'élévation ; les appareils seront placés en conséquence.

Afflux d'eau. — On doit malgré tout se rendre compte pour le mieux par des sondages de la nature géologique des terrains, afin d'apprécier le matériel nécessaire aux épuisements.

Ijmuiden. — Ainsi la nouvelle écluse d'Ijmuiden qui a 225 mètres de longueur utile de sas sur 25 mètres de largeur a pu être construite à l'air libre dans une fouille maintenue à sec jusqu'à 11 mètres sous AP. On avait reconnu que le sable qui constitue le sol reposait sur deux couches d'argile situées respectivement aux cotes — 8 mètres et

— 17 mètres sous AP. Deux pompes centrifuges suffisaient à l'assèchement et encore il était arrivé là comme à l'Alexandra dock de Hull que l'eau provenait surtout des trous de sonde perforés dans l'argile et qui servaient d'exutoire aux nappes inférieures.

Tancarville. — Dans les ports français du Nord, pour la construction des écluses, on a toujours pu exécuter les fouilles à sec avec une puissance ne dépassant pas 8 à 10 chevaux.

Mais au canal de Tancarville, avant la construction du bassin Bellot, il fallait huit pompes ; quand ce bassin fut entrepris, les fouilles du canal exigèrent onze pompes, commandées par des machines d'une force totale de 200 chevaux. Sur ce nombre huit seulement étaient toujours en service, les trois autres servaient de réserve.

Le cube d'eau élevé s'élevait à 100 litres par seconde.

Bassin Bellot. — Au prolongement de la « digue Saint-Jean » le long du bassin Bellot du Havre, les fouilles exécutées dans l'anse de l'Eure avaient 40 mètres de longueur sur 1,50 *m* de profondeur ; l'afflux d'eau n'y était que de 20 litres par seconde. Il suffisait de trois locomobiles de 18 chevaux actionnant chacune directement une pompe pour maintenir la fouille à sec.

Aux darses, l'afflux a varié de 300 à 700 litres par seconde et la hauteur d'élévation du refoulement a atteint jusqu'à 15 mètres, la force totale employée étant à l'une de 250 chevaux, à l'autre de 290 chevaux. On a reconnu là que les moteurs les plus commodes étaient les locomobiles de 35 chevaux actionnant des pompes centrifuges ; mais ce ne sont pas les plus économiques, bien entendu.

Puisards. — La question des puisards est d'une grande importance ; à Tancarville, ils étaient formés d'anneaux de tôle de 3 mètres de diamètre et 1 mètre de hauteur superposés.

Aux travaux d'agrandissement de l'arsenal de Portsmouth le cylindre, en fonte sauf sur les 50 *cm* de hauteur inférieure où il était en fer, avait 4 mètres de diamètre, 21 mètres de longueur ; il fut enfoncé à côté des excavations à 3 mètres au-dessous des fouilles extrêmes. Dans ces conditions, malgré le voisinage de la nappe d'eau, les fouilles ont pu être aisément asséchées par une machine de 20 chevaux.

A Buenos-Ayres, dans les fouilles de l'écluse du nord, on rencontra un fort banc de sable boulant dans lequel les épuisements devinrent très difficiles. Il fallut enfoncer un cylindre métallique de 2,50 *m* de

diamètre jusqu'au terrain solide au-dessous du banc, puis en fermer le fond par une couche de béton. De larges trous ménagés dans les parois permirent l'accès de l'eau qui put ainsi être épuisée. Le cylindre s'enfonçait par havage, un plongeur excavant le fond.

Au bassin Bellot, le puisard, de 4 mètres de diamètre, fut descendu à la cote — 6 mètres avec l'aide de l'air comprimé.

Le travail supplémentaire exigé par l'installation d'un large puisard est amplement compensé par la facilité que leur emploi apporte à l'exécution des travaux.

Fouilles. — Quand les fouilles sont peu importantes, elles sont exécutées à la main ; autrement l'emploi des excavateurs est avantageux.

En général, la terre est enlevée par couches successives dont l'expérience a indiqué l'épaisseur de 1,50 *m* comme une bonne moyenne.

La disposition des moyens d'élévation des déblais est très importante et il est nécessaire de l'étudier avant le commencement des travaux ; elle varie selon les circonstances locales. Lorsqu'on peut s'assurer un dégagement par une pente raisonnable, l'enlèvement se fait au wagon conduit par locomotive ; sinon, l'emploi de la grue s'impose.

Les fouilles peuvent être également exécutées à la drague ; mais le système des épuisements est plus économique quand les espaces à creuser ne sont pas trop considérables ; il présente aussi l'avantage de permettre l'établissement des pilotis avant d'avoir atteint le fond.

Exécution des fondations. — Au cas où les fouilles sont exécutées à la drague, les fondations qui sont presque toujours en béton sont nécessairement coulées sous l'eau par l'un des procédés connus (au talus, par caisses, trémies, etc.). Quand on a procédé par épuisement, il faut se garder de déposer le béton sur le fond asséché ; l'eau tend à reprendre son niveau et produit au-dessous du massif des bouillonnements qui délavent le béton et y creusent des canaux, d'autant plus que le mortier employé est toujours de prise lente.

Dans les ports français du Nord, on a évité ces dégradations en laissant l'eau remonter à 20 ou 30 *cm* au-dessous du niveau supérieur que doit avoir la couche de béton que l'on coule ainsi sous une profondeur de 1 à 2 mètres d'eau.

On commence, au moyen d'un procédé à peu près analogue à celui de M. Heude (page 399), par constituer un noyau de béton jusqu'à ce que

son sommet émerge suivant une étendue superficielle d'environ 1 mètre carré. A ce moment le coulage s'effectue au talus.

Le béton, versé sur la crête émergeante du tas, est pilonné ou piétiné par des hommes chaussés de bottes de mer et armés de pelles et de pilons. Versement et pilonnement se font *hors de l'eau*, les matériaux refoulés latéralement s'écoulent sur le talus qui avance presque parallèlement à lui-même. On peut ainsi couler 200 mètres cubes par jour.

Il est indispensable de ne pas interrompre le cours de l'eau à la surface de la fouille, car autrement elle tendrait à se surélever du côté opposé aux pompes ; à cet effet, on établit une dérivation latérale au massif, quand il a atteint toute la largeur de l'enceinte; sinon, il faut maintenir par un épuisement spécial la hauteur constante dans la partie où n'agissent pas les pompes.

Après constitution d'une branche de 15 mètres de longueur environ, la prise faite au bout de 48 heures, ce massif n'a plus rien à craindre et l'on peut laisser remonter en amont l'eau qui s'écoule sur le bloc et se dirige vers les pompes ; une seconde tranche s'établit de la même façon.

Il se produit de la laitance qui tend à se déposer en avant du talus ; elle doit être enlevée avec le plus grand soin ; on la repousse dans l'eau au moyen de balais à long manche ; les pompes l'enlèvent avec le liquide.

A Ijmuiden, la fouille ayant pu être tenue complètement asséchée, le béton a été posé à sec pour la fondation des têtes et des bajoyers. Quant au sas, il est fondé sur des blocs artificiels sous lesquels a été établi un lit de clayonnages.

A l'écluse Trystram de Dunkerque, le béton était coulé sur un pilotis composé de 6 300 pieux de 5 mètres de longueur en moyenne ; la couche est épaisse de 3,70 *m* dans le parafouille, 3 mètres dans la chambre des portes et 2 mètres dans le sas. Elle est recouverte d'une maçonnerie de briques et d'un pavage, en moellons dans le sas et en pierres de taille dans les chambres. L'épaisseur totale est ainsi de 4 à 5,30 *m*.

CHAPITRE XXIV

TRAVAIL A L'AIR COMPRIMÉ

Le travail à l'air comprimé a pris et prendra dans les ouvrages maritimes une place de plus en plus considérable, car il est actuellement presque le seul procédé qui assure l'exécution des fondations dans les terrains difficiles. Il rend d'immenses services pour le déroctement, l'enlèvement des gros blocs, la réparation des murs dégradés. On l'a employé en pleine mer à la nouvelle jetée est de Dunkerque, aux môles de la Pallice et de Gijón.

Mais, si utile qu'il soit, il est coûteux et lent; il faut donc n'y recourir qu'en cas d'impossibilité des autres systèmes. Le havage, par exemple, surtout aidé des injections d'eau, est généralement plus économique pour les fondations de murs de quai. On s'est vu cependant contraint de le compléter par l'emploi de l'air comprimé dans les terrains très fluents du troisième bassin de Rochefort.

Une étude attentive des conditions du travail est donc indispensable avant son adoption.

Principe. — L'air, comprimé dans une enceinte close pleine d'eau, l'en fait sortir. Si donc dans une cloche sans fond inférieur suspendue dans l'eau, on introduit l'air sous pression, les ouvriers pourront y travailler à sec et il suffira de leur ménager l'accès par une cheminée communiquant avec l'extérieur et close à volonté.

Scaphandre. — Le mode le plus simple d'utilisation de l'air comprimé consiste dans l'emploi du scaphandre. Beaucoup d'ouvrages ne peuvent être exécutés qu'à l'aide de cet appareil ; telles les tours-balises implantées sur des écueils sous-marins. En Europe les plongeurs exercés se trouvent aisément ; mais dans les pays nouveaux il faut les former. Tout homme sain, principalement de la poitrine, s'habitue rapidement à ce genre de travail. L'entraînement se fait par degrés, par

augmentations successives de la profondeur d'immersion. Des précautions contre le refroidissement sont indispensables au moment où l'on enlève les lourds vêtements dont le plongeur est chargé.

Dans les mers tropicales où la température de la mer est supérieure à 20°, il peut ne revêtir que le casque et s'épargner le poids du reste de l'attirail; ses mouvements conservent ainsi plus de liberté. C'est de cette façon que l'on a opéré à la Guaira. Le casque est relié à un coussin circulaire posé sur les épaules et retenu par une cordelette.

Le scaphandrier [1], pour descendre, passe comme lest une chaîne autour de son corps. Des hommes même non entraînés sont capables de séjourner ainsi une journée dans l'eau.

Les ingénieurs, s'ils n'ont pas un personnel très sûr, veilleront eux-mêmes aux préparatifs de la descente et à la manœuvre de la pompe. Beaucoup n'hésitent pas à se rendre compte personnellement des difficultés qu'ils peuvent rencontrer. C'est en scaphandre que sir John Coode a étudié les mouvements du galet au Chesil Bank. Parfois aussi l'exemple est nécessaire pour déterminer des ouvriers à se transformer en plongeurs.

Cloches. — On se sert également de cloches. Le modèle de bateau-cloche représenté par la figure 18 nous a été très utile. Le bateau porte le moteur et le compresseur. A un bâti triple est suspendue la cloche, cylindre de 3 mètres de diamètre surmonté d'une cheminée d'accès et d'une écluse à air. La cheminée se compose de viroles boulonnées qui permettent l'immersion à toute profondeur.

La chambre de travail est tronconique; le double fond contient un lest de riblons de fer. L'eau y est introduite ou en est chassée par l'air comprimé au moyen d'un jeu de robinets. La manœuvre de la cloche s'opère par trois treuils à mains, aidés du lest d'eau.

Le compresseur est relié au sas par un tuyau flexible.

L'appareil servait principalement à l'élingage de gros blocs enfouis dans une gangue et que ne pouvait enchâsser le grappin. Les chaînes étaient rejetées à l'extérieur munies d'un flotteur; une grue flottante les soulevait. Dans les endroits difficiles les trous de mines se creusaient aussi dans la cloche; on repoussait de même au dehors la mèche enflammée. L'explosion s'opérait après un écart rapide du bateau. La cloche pesait 6 tonnes.

(1) Il faut bien se servir de ce terme barbare, puisque c'est l'appareil qui a pris le nom de scaphandre.

A Dublin, M. Stoney s'est servi, pour creuser et niveler le fond du fleuve où il posait les énormes blocs qui constituent le mur de quai

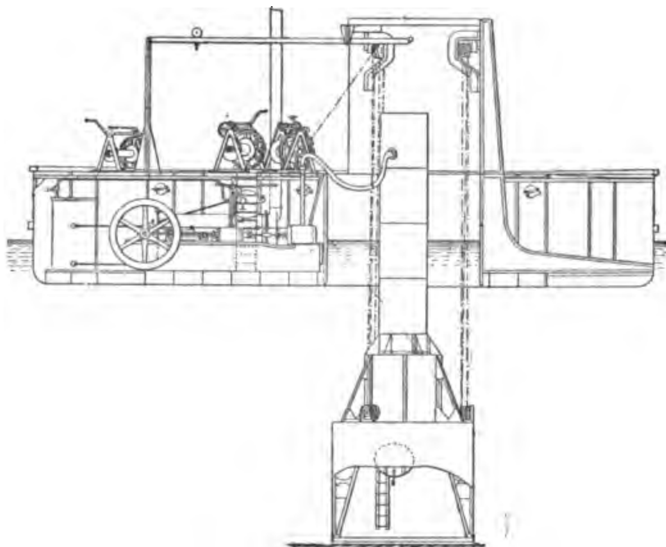


Fig. 18. — Bateau-cloche.

(voir le chapitre spécial), d'une cloche suspendue à l'extrémité d'une chèvre flottante. La cloche en fonte, pesant 80 tonnes, avait une section carrée de 6 mètres de côté et une hauteur de 2 mètres. La longueur de la cheminée atteignait 10 mètres et servait au déchargement.

A Pola pour des travaux analogues la cloche était suspendue de la même façon et les tuyaux s'emboîtaient télescopiquement.

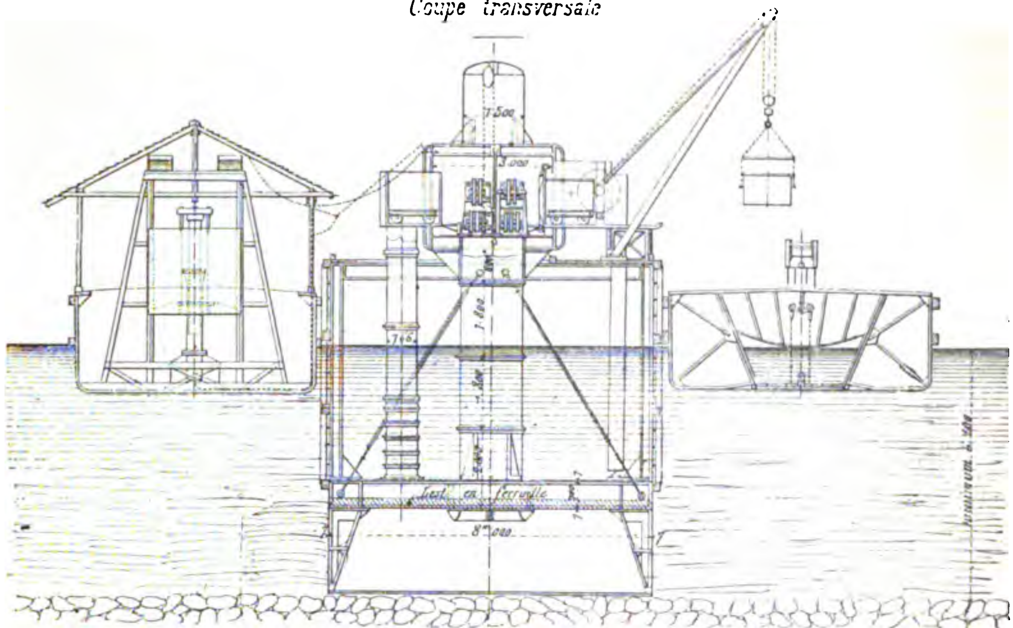
Caissons flottants. — Quand le caisson a besoin de grandes dimensions, il ne peut être suspendu ; il est alors rendu indépendant et flotte par lui-même. Dans ce cas une cloison horizontale le sépare en deux compartiments: l'inférieur constitue la chambre de travail; l'autre, la chambre d'équilibre, entraîne la descente ou la remontée de l'appareil suivant qu'il est rempli d'eau ou que le liquide en est expulsé par l'air comprimé. Ce jeu inverse est produit par des soupapes appropriées.

Caisson de la Pointe des Galets (fig. 19). — Un bon type de ces caissons a servi à enlever un banc de grosses pierres au port de la Pointe des Galets. Ses dimensions étaient 14,20 $\times$ 8 $\times$ 9 mètres.

Sur le plafond de la chambre de travail, haute de 2,20 *m*, était placé le lest en fonte nécessaire à l'équilibre de la sous-pression. Deux

Appareil en travail

Coupe transversale



Coupe longitudinale

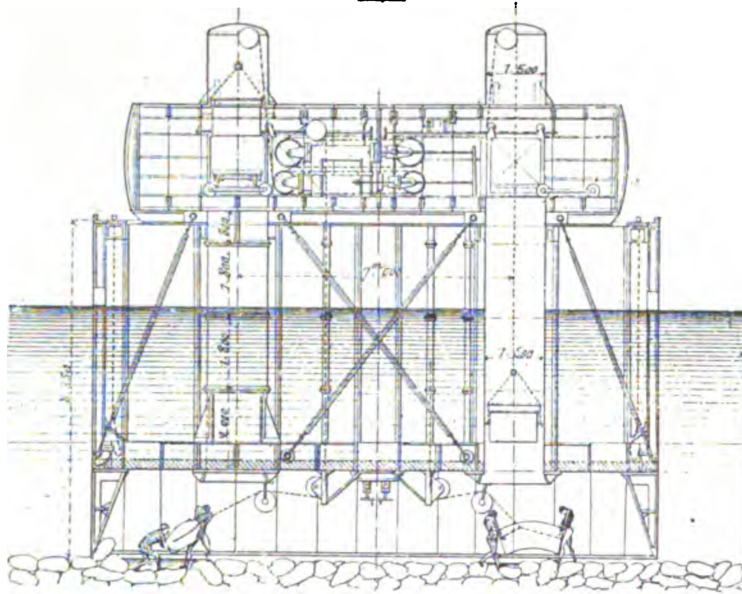


Fig. 19. — Cloche à air comprimé pour l'enlèvement de galets sous l'eau.

cheminées de 60 *cm* de diamètre servaient au passage des ouvriers; deux autres de 1,50 *m* à l'enlèvement des déblais. Ces cheminées aboutissaient dans une chambre de manœuvre ayant 12 × 3 × 2,60 *m*. De chaque côté des cheminées de déblais, la chambre de manœuvre était munie de portes étanches par lesquelles se faisait l'extraction.

Les machines motrices étaient portées sur un chaland à part, et les pierres sorties des cheminées étaient reprises par une grue à main et jetées dans un ponton.

L'air comprimé était lancé dans la chambre de travail, où il perdait vite sa chaleur au contact des parois.

Le soulèvement du caisson, pour le changement de place, s'opérait par l'expulsion de l'eau de la chambre d'équilibre et aussi par quatre vis qu'on faisait reposer sur les extrémités des deux chalands servant aux machines et aux déblais. On transportait l'ensemble et la manœuvre inverse laissait reposer le caisson sur le fond.

La profondeur d'immersion de ces caissons mobiles ne saurait excéder une huitaine de mètres; au-dessus, il faudrait des dimensions trop considérables.

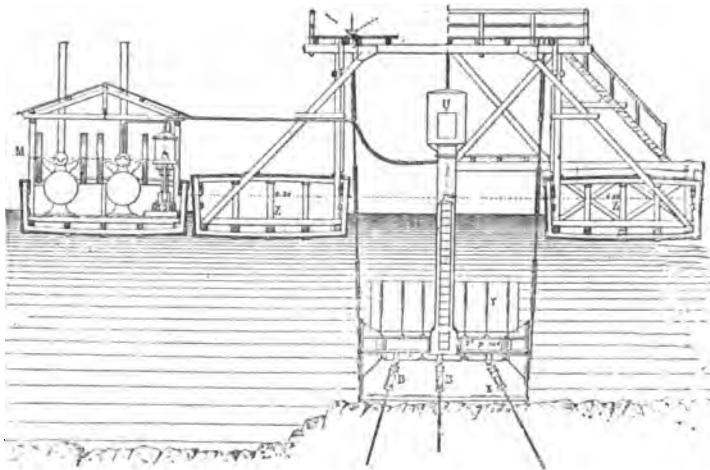


Fig. 20. — Mines des bassins de Gênes.

Mines des bassins de radoub de Gênes (fig. 20). — Le forage des trous de mines a été effectué dans un caisson de 20 × 6,50 *m*, à parois légères puisqu'elles n'avaient pas de charges à supporter. La souspression est équilibrée par des gueuses de fonte placées sur le plafond, qui porte également deux cylindres de 2 mètres de diamètre et 5,50 *m* de

longueur, ouverts à leur partie inférieure et jouant le rôle de chambre d'équilibre. Deux cheminées donnent accès aux ouvriers. Le caisson est suspendu par des tringles à 24 vérins appuyés sur une charpente reposant sur deux chalands.

La chambre de travail, de 2 mètres de hauteur, porte sous le plafond quatre fers à T ; le long de leurs ailes inférieures roulent six galets montés sur trois essieux. Ces essieux portent chacun une bride qui suspend une perforatrice rotative Brandt; bride et perforatrices peuvent se déplacer, pour permettre de forer les trous à volonté.

Le diamètre du fleuret est de 6 *cm* pour les trous de moins de deux mètres, de 10 *cm* au-dessus. Les perforatrices sont mues par l'eau comprimée; pour éviter un accumulateur on faisait agir la vapeur des locomobiles (à 5 atmosphères) sur un plateau dont la surface est égale à quatorze fois la section du piston qui presse l'eau : celle-ci était donc comprimée à $5 \times 14 = 70$ atmosphères.

Les trous forés et chargés à la dynamite, les fils étaient réunis à un flotteur rejeté au dehors du caisson qu'on éloignait et l'on faisait sauter à l'électricité.

CAISSONS ORDINAIRES

D'ordinaire l'appareil est fixe ou du moins ne se déplace que rarement. La chambre de travail a de 1,70 *m* à 2 mètres de hauteur. Le lest enfermé dans la chambre d'équilibre est destiné à déterminer l'immersion du caisson, immersion qui autrement serait empêchée par la souspression de l'air insufflé dans le compartiment inférieur. Le lest se divise en deux parties : l'une fixe, souvent en fonte, dont le poids déterminé par le calcul équilibre à peu près la sous-pression; l'autre intermittente, produite par l'introduction d'une certaine quantité d'eau, qui est expulsée à volonté; c'est la dernière qui assure l'enfoncement de l'ensemble.

Lorsque le caisson doit rester enfoui dans l'ouvrage qu'il sert à construire, la chambre d'équilibre est supprimée: le lest se pose directement sur le plafond de l'unique compartiment et il est le plus souvent constitué par la maçonnerie elle-même, qui s'élève à mesure que le caisson s'enfonce.

Description (fig. 21). — Sur le plafond est fixée une tubulure cylindrique en tôle, d'un mètre de diamètre, surmontée d'une chemi-

née que composent des anneaux boulonnés ensemble. L'extrémité supérieure qui doit toujours dépasser la surface de l'eau, se termine par un sas, cloche cylindrique de 2 mètres de diamètre, jouant à l'égard du caisson le rôle d'écluse. Le sas est muni à sa jonction avec la cheminée d'un clapet horizontal étanche S s'ouvrant de haut en bas. Une porte P également étanche établit la communication du sas avec l'extérieur.

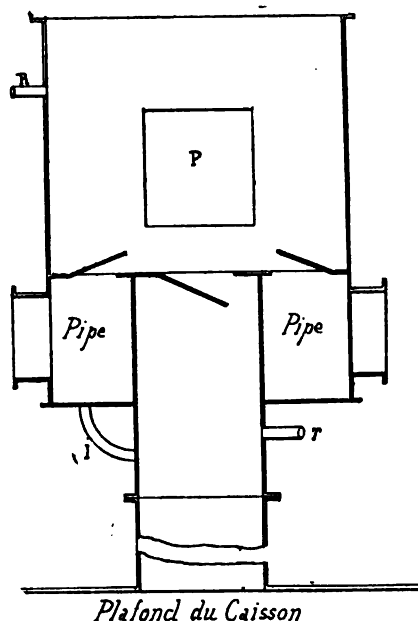


Fig. 21. — Principe du sas à air comprimé.

L'air sortant des compresseurs arrive par un tuyau T dans la cheminée et se répand dans la chambre de travail. Il repousse totalement l'eau du caisson. Par le tuyau I muni d'un robinet, il peut passer dans le sas ; on peut aussi l'en expulser par le robinet R.

Manœuvre. — Le caisson étant descendu à l'endroit voulu, la chambre de travail est vidée par l'insufflation de l'air. Les ouvriers pénètrent dans le sas, s'y enferment et y introduisent l'air comprimé. Jusque là le clapet de la cheminée était fermé par la pression inférieure ; l'équilibre permet de l'ouvrir et les ouvriers descendent par une échelle de fer.

Suivant la dimension de l'appareil, le personnel et les matériaux, soit de déblai, soit de construction, passent par la même voie ou par des cheminées différentes, toutes munies de sas.

Dans celles qui servent aux matériaux, un treuil manœuvre les bennes. La communication avec l'extérieur s'établit par une petite chambre latérale au sas munie de deux portes étanches. Deux ouvriers placés, l'un dans le sas, l'autre au dehors, échangent les bennes vides ou pleines par l'intermédiaire de cette éclusette qui a reçu le nom de *pipe*. Les deux portes n'étant jamais ouvertes en même temps, la perte d'air comprimé est minime à chaque opération.

Mieux vaut encore placer sur le plancher du sas une ouverture circulaire à laquelle s'adapte un tuyau dont la base est fermée par un opercule à vis. Les déblais sont jetés dans le tuyau jusqu'à remplissage. On le vide en le fermant supérieurement par un clapet, puis ouvrant l'opercule, qui est refermé après la vidange. Un robinet renvoie de l'air comprimé dans le tuyau, le clapet peut s'ouvrir et l'opération recommence.

L'installation décrite est la plus simple possible; elle se complique suivant l'importance des travaux.

Construction. — Le caisson est généralement en fer. La carcasse se compose de consoles verticales supportant les poutres du plafond; l'ensemble est consolidé par des contrefiches inclinées et entretoisées. Les consoles sont recouvertes d'une enveloppe de tôle destinée à isoler l'enceinte intérieure. L'arête de base est renforcée par un fer plat formant tranchant.

Calculs des dimensions. — Il est aisé de calculer les dimensions des fers d'après les forces en jeu.

Ces forces sont toutes verticales ou horizontales.

Les premières comprennent deux groupes agissant en sens opposé :

1° Poids du caisson et de ses accessoires, du lest, des maçonneries construites sur le plafond ; 2° Sous-pression produite par le déplacement de l'eau.

La force horizontale est la poussée latérale sur les parois, de l'eau ambiante ou des terres selon le milieu où descend le caisson ; elle est appliquée au tiers de sa hauteur.

Plafond. — La sous-pression varie suivant que la chambre de travail est pleine d'eau ou vide. Dans le premier cas, la réaction contre la face inférieure du plafond est due à la profondeur d'immersion dudit plafond ; dans le second, la sous-pression est égale au poids d'une

colonne d'eau dont la hauteur est la distance du tranchant au-dessous de la surface du liquide.

Il convient, pour une construction si exposée, d'adopter l'hypothèse la plus défavorable. Mais d'autre part, comme on a soin de construire la maçonnerie supérieure en voûte appuyée contre les poutres, il se produit entre celles-ci une sorte d'entretoisement, qui augmente leur résistance.

Dans la pratique, les poutres sont espacées d'un mètre et leur hauteur est égale au dixième de leur longueur, sans descendre au-dessous d'un minimum de 30 *cm* afin d'assurer aux voûtes une épaisseur suffisante.

A cause de celles-ci, la tôle du plafond, qui peut être très mince (5 millimètres), est fixée au-dessous des poutres

Parois. — Les dimensions de l'armature des parois se déduisent de la poussée des terres, calculée pour la profondeur maxima d'immersion. Comme pour les murs des quais, il faut prévoir que certains sols délayés constituent un fluide de densité double de celle de l'eau.

La poussée s'obtient par la formule :

$$Q = \frac{\delta\, h^2\, h'^2\, \mathrm{tg}^2 \frac{\alpha}{2}}{2} \qquad \text{(M. Zschokke).}$$

dans laquelle on a :

h, hauteur en mètres du caisson.
h' — — du sol au-dessus du plafond,
δ densité du milieu.
α angle de la paroi avec le talus naturel.

Pour un sol de sable et gravier mobile, la formule devient :

$$Q = 550\, h^2\, h'^2$$

Elle s'élève à $Q = 1000\, h^2\, h'^2$ pour le cas le plus défavorable, fluide de densité double de celle de l'eau.

Poutres transversales. — Dans les grands caissons, comme ceux qui ont servi à la construction des cales sèches de Toulon, de Saïgon, il est impossible d'assurer la résistance seulement par les consoles verticales et les contrefiches, qui devraient avoir des dimensions énormes.

La rigidité est obtenue par des poutres transversales, qui supportent les efforts sur la longueur des compartiments qu'elles délimitent.

Leur résistance se calcule en prenant le moment fléchissant des diverses forces par rapport à l'axe longitudinal.

Le poids du caisson, celui des maçonneries s'il est uniformément réparti sur le plafond, sont contre-balancés par la sous-pression et leur moment fléchissant est nul. Il n'en est pas de même des charges inégalement réparties, telles que le lest, le poids des bajoyers, etc.

En appelant :

p, p', p''... leurs poids,

l, l', l''... leurs distances à l'axe,

L, la largeur du caisson,

leur moment fléchissant est :

$$\Sigma\, pl$$

Celui de la sous-pression est :

$$-\frac{L}{2}\,\Sigma\, p.$$

La différence, maxima au milieu des poutres, constitue le moment fléchissant des forces verticales.

Celui de la poussée horizontale est :

$$-\frac{h^2\,\delta\, c\, d}{2}$$

h hauteur d'eau au-dessus de la base de la poutre,

δ densité du sol ambiant,

c longueur d'un compartiment,

d distance du point d'application de la poussée à la fibre neutre des poutres.

Le moment fléchissant total M est la somme de ces trois moments partiels.

La formule :

$$\frac{M\,n}{I}$$

donne la valeur de la tension et de la compression.

n distance de la fibre neutre à la fibre la plus éloignée dans le premier cas et à la plus comprimée dans le second,

I, moment d'inertie.

La poussée latérale exerce de son côté sur les poutres une pression C par millimètre carré. Le travail total est donc :

Compression :

$$-\left(\frac{Mn}{I}+C\right)$$

Tension :

$$+\left(\frac{Mn}{I}-C\right)$$

Stabilité. — Quand un caisson opère au milieu de l'eau, il importe d'apprécier sa stabilité.

Voici la manière de la calculer dans l'une des positions du caisson, celle où la chambre de travail est pleine d'air comprimé, la chambre d'équilibre pleine d'eau et le caisson complètement immergé.

Soient :

p le poids du caisson,

p' — du lest en fonte,

h la hauteur de la chambre de travail,

h' — — d'équilibre,

e — totale du caisson,

S la surface du caisson,

s la section droite des cheminées et de toutes les pièces qui surmontent le caisson,

H la hauteur de l'eau au-dessus du caisson,

V le volume du lest en fonte $=\frac{p'}{7,2}$,

d poids spécifique de l'eau de mer = 1026.

La charge qui presse le caisson est :

$$p+p'+(S-s)\,H\,d$$

La sous-pression qui tend à le soulever comprend :

Le déplacement du caisson.		Sed
—	des cheminées et autres pièces. . .	sHd
—	du lest de fonte.	Vd
	Total	$d(Se+sH+V)$

La différence

$$D=p+p'+(S-s)\,H\,d-[d\,(Se+sH+V)]$$

est le poids qui assure la stabilité du caisson.

Il est facile avec la même méthode de calculer cette différence pour les diverses positions du caisson par rapport à l'eau.

Cheminée et sas. — Les cheminées n'offrent aucune particularité de construction. Il existe de nombreux types de sas ; la séparation du service du personnel et du matériel les simplifie.

Le nombre des cheminées est parfois multiplié, afin d'opérer autant que possible à pied d'œuvre. Ainsi chaque caisson de Saïgon, long de 83 mètres, était divisé par des cloisons transversales en 10 compartiments. A chacun d'eux correspondaient une cheminée pour les ouvriers, et deux plus petites pour les matériaux.

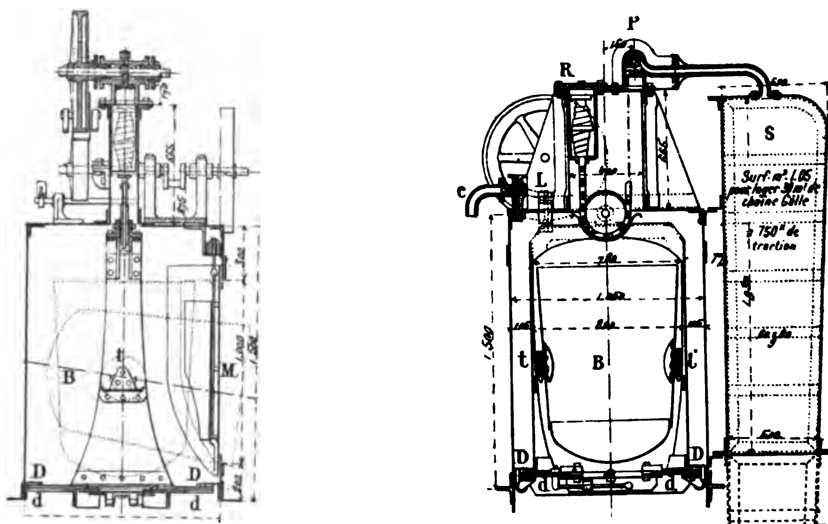


Fig. 22. — Ecluse Zschokke et Terrier.

Le passage des matériaux par la porte du sas occasionne des pertes d'air comprimé.

Pour y remédier, une ingénieuse disposition a été adoptée à Bordeaux, Livourne, etc. (fig. 22) par MM. Terrier et Zschokke.

La portion supérieure de la cheminée d'extraction des matériaux constitue un sas de 1,50 *m* de hauteur, séparé du reste par un diaphragme métallique D de 10 *cm* de largeur. Il laisse donc libre une ouverture circulaire où peut passer le châssis qui porte la benne. A la partie inférieure du châssis est fixé un disque *d*, plus large que

l'ouverture circulaire, contre laquelle il vient buter, lorsqu'on élève la benne. A ce moment, un robinet évacue l'air comprimé du sas; l'air qui reste dans la cheminée presse le disque contre le bord du diaphragme muni d'une feuille de caoutchouc assurant l'étanchéité. On ouvre la porte du sas et la benne est basculée autour des tourillons qui la rattachent au châssis. En faisant rentrer l'air comprimé dans le sas, la benne redescend.

Les déblais argileux sont délayés dans l'eau d'un bac placé sur le côté du caisson, puis expulsés par un tuyau communiquant avec l'extérieur. L'air comprimé lui-même produit la chasse nécessaire. Il faut avoir soin de repousser les déblais au loin pour éviter la rentrée dans les fouilles.

Travail dans l'air comprimé. — Le travail dans l'air comprimé produit, même à de faibles pressions, des accidents légers comme les bourdonnements d'oreilles, la démangeaison de la peau, les saignements du nez, etc. Les ouvriers s'y habituent vite et avec quelques mouvements de déglutition à vide remédient à ces malaises; mais la compression et surtout la décompression rapide à de grandes profondeurs entraîne parfois des accidents plus graves: courbatures, douleurs rhumatismales, paralysie partielle. Il y a même eu des cas mortels.

Des expériences de M. Hersent ont établi la possibilité de supporter la pression de 50 mètres d'eau à la condition d'une décompression lente, à raison de dix minutes par chaque dixième de kilogramme, avec réchauffement de l'écluse pendant ce temps à 20° environ par des serpentins à circulation de vapeur.

Jusqu'à 15 mètres, un homme peut donner un travail normal; de 15 à 20 mètres, il faut diminuer le temps de labeur d'un quart. Au delà, on ne saurait le prolonger plus de quatre heures. On doit aérer la chambre pendant la décompression en continuant à souffler pendant la sortie de l'air.

La fatigue la plus appréciable est celle de l'ascension de l'échelle; il serait donc utile de faire remonter les hommes par des moyens mécaniques.

En aucun cas, on ne laissera les robinets d'arrivée et de sortie de l'air entre les mains des ouvriers, car ils sont trop enclins à diminuer la période de décompression.

APPLICATIONS

1° Perforation dans l'air comprimé

Le caisson employé pour le dérasement de la roche la *Rose* à Brest avait 10 × 8 × 7 mètres.

La hauteur est partagée en trois parties; inférieurement, la chambre de travail, de 2 mètres; au-dessus, une portion de 750 *mm*, constituée par les poutres du plafond de la chambre, qui ont cette hauteur; entre ces poutres en fer on coule du béton pour assurer la stabilité de la cloche. Enfin la chambre supérieure, de 4,25 *m*, constitue le flotteur.

Une grande cheminée centrale, de 3 mètres de diamètre, terminée inférieurement par un double sas à air, surmonte la chambre de travail; par un escalier, les ouvriers accèdent ainsi aux sas et de là à la chambre.

De chaque côté de cette cheminée se trouvent deux tuyaux, de 450 *mm* de diamètre, alésés et ayant la même hauteur que la cheminée centrale. Les cinq tubes sont réunis supérieurement par une plateforme.

Les deux tuyaux du même côté servent de chapelets d'extraction des déblais; il s'y meut une chaîne sans fin allant de l'un à l'autre et portant des plateaux métalliques garnis de caoutchouc, formant joint avec les tuyaux; sur ces plateaux l'on place les bennes contenant les déblais; on les retire sur la plateforme.

L'appareil s'immerge en introduisant l'eau par une soupape dans la chambre de flottaison. Il possède alors une stabilité parfaite, et l'on a pu y travailler facilement à l'aide de la mine.

Le poids total est de 330 tonnes.

2° Nivellement des fondations des ouvrages en pleine mer

Musel (Gijón) (fig. 23). — Les blocs de béton du môle nord de Musel, qui atteignent jusqu'à 80 tonnes, se posent au moyen d'un titan dont la puissance est de 100 tonnes et dont le type est tout spécial. Non seulement il doit descendre les blocs d'avancement des murs latéraux, mais aussi ceux des cloisons de refend. Il roule sur deux voies portées, l'une par le mur extérieur, l'autre par l'intérieur; aussi sa largeur est-elle de 40 mètres et sa longueur de 50 mètres. Un chariot transversal sert à édifier les traverses.

On a tenu à niveler avec soin le substratum formé de blocs-sacs de 2

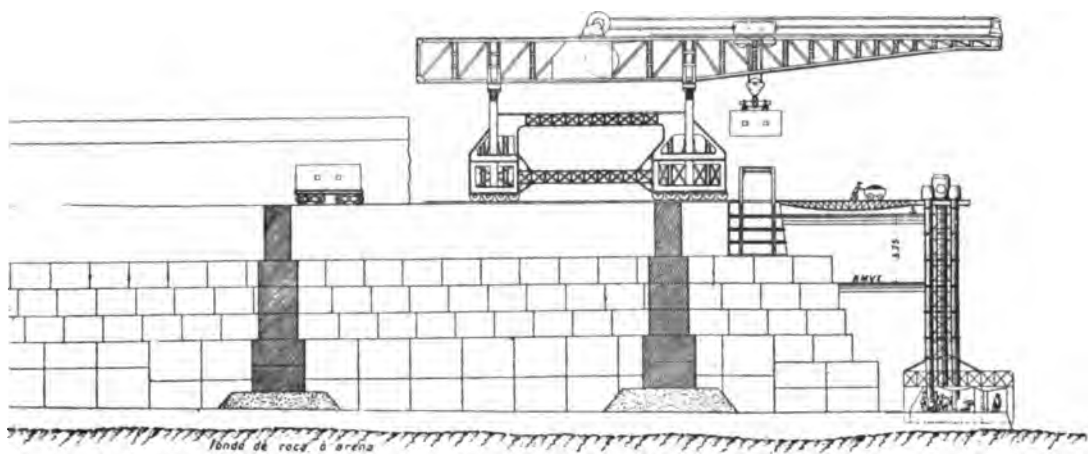


Fig. 23. — Titan de Musel.

à 4 tonnes. Ce nivellement s'opère dans un caisson à air comprimé (un pour chacun des deux murs latéraux).

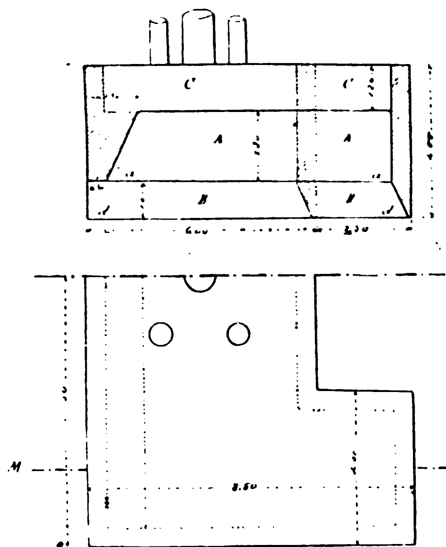


Fig. 24. — Système de fondation à Musel.

Le plus grand a comme dimensions 15 × 6 × 4 mètres. La largeur est portée à 8,50 *m* sur les 4 mètres extrêmes de chaque côté. Quatre cheminées à sas servent aux matériaux, une cinquième au passage des ouvriers. Un pont de service relie les sas à la portion du môle déjà construite.

La hauteur du caisson, 4 mètres, est partagée en trois parties (1 mètre, 1,80 *m* et 1,20 *m*). Les deux inférieures constituent la chambre de travail, l'autre est destinée à recevoir un lest d'eau amovible. Le compartiment inférieur n'a pas de paroi sur sa face postérieure (celle qui regarde la terre); les trois autres côtés sont en talus, de façon à s'appuyer sur la hauteur d'un mètre contre les côtés de la fondation, également en talus, déjà construite. On comprend que dans cette position l'arête inférieure de la paroi postérieure s'appuie sur la face supérieure de la fondation achevée (fig. 24). Pendant le travail, on ferme ce joint au ciment de prise rapide, de sorte que tout le caisson est à sec.

Mais son arête inférieure ne touche pas le fond; de la chambre de travail, on coule les sacs jusqu'à la surface de l'eau et l'on construit à sec l'épaisseur d'un mètre de béton restant pour parfaire la fondation, qui est nivelée avec soin. Après huit heures de durcissement, le caisson est légèrement soulevé au moyen de quatre vérins hydrauliques portés par des galets dont la voie est constituée de semelles posées sur la fondation et l'on fait avancer le caisson de 1,50 *m* avec l'aide de deux autres vérins hydrauliques. Le joint postérieur, brisé pendant le mouvement, est refait et l'opération recommence.

Le système a très bien fonctionné; mais il parait lent et compliqué.

3° Ouvrages en mer ou en estuaires sur cylindres

Voici la description des cylindres qui constituent en partie les jetées de l'Adour (1).

Les cylindres, de 2 mètres de diamètre, sont enterrés au moins à la cote — 7,40 *m* et sont même parfois descendus à la cote — 11,80 *m*. Espacés de 5 mètres d'axe en axe, ils portent une passerelle métallique dont les montants sont boulonnés sur les nervures d'un chapiteau qui prolonge les colonnes. Celles-ci sont noyées dans un enrochement qui arrive à la cote — 3 mètres.

La mise en place et le fonçage des tubes s'opère par un chariot circulant sur les colonnes déjà posées. Il porte un treuil qui met en place un bout de tube formé d'un nombre suffisant d'anneaux pour qu'il dépasse le niveau de la basse mer. On ajoute alors d'autres anneaux, autant que le permet la hauteur du chariot, et on les couronne d'un

(1) Voir la disposition de l'ensemble au chapitre spécial.

sas. L'air y arrive par un tuyau partant d'un compresseur établi à l'ori-

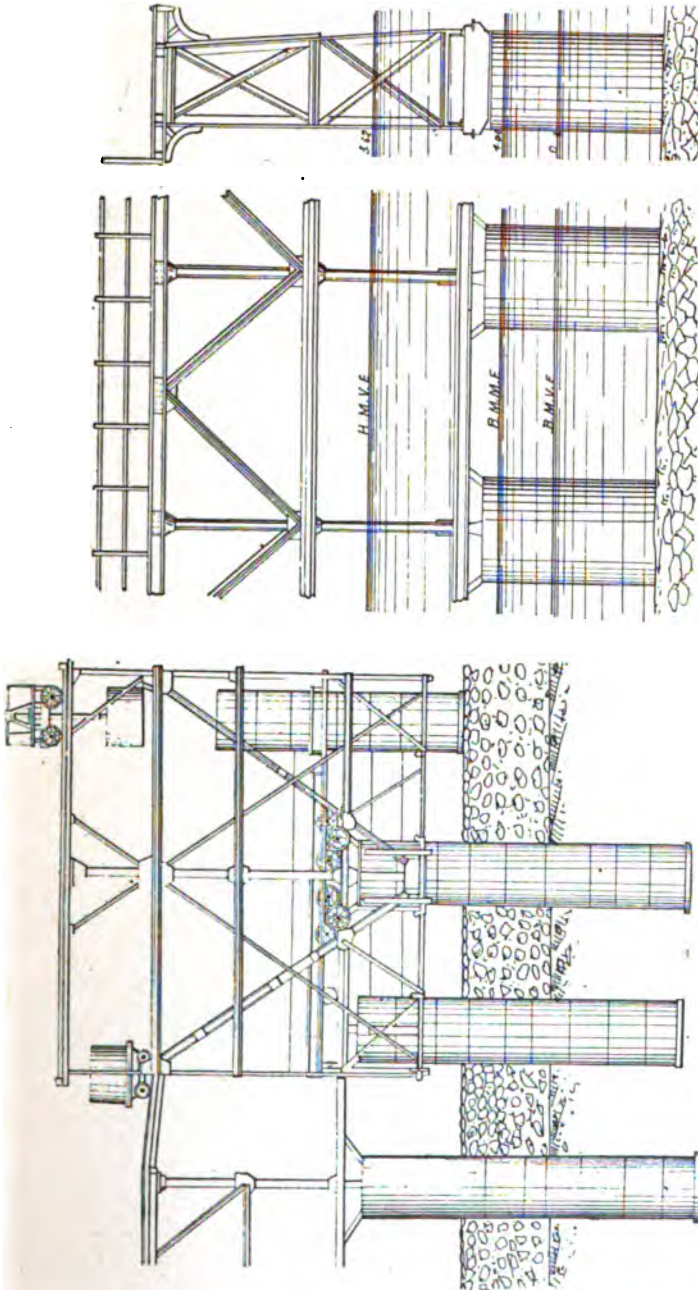


Fig. 25 — Cylindres de l'Adour.

gine du pont de service. Le sas est chargé de 10 tonnes de gueuses de

fonte et le tube s'enfonce par suite de la fouille qu'effectuent dans l'intérieur deux ouvriers. Les bennes sont déchargées par l'écluse.

La colonne arrivée à la profondeur fixée est remplie de béton ; le sas est enlevé et remplacé par le chapiteau qui doit porter la passerelle. Provisoirement on y assemble les rails du chariot qui s'avance pour mettre en fiche la colonne suivante.

Le chariot de fonçage ayant été renversé à plusieurs reprises par les vagues a été abandonné et le système a été remplacé, avec avantage, par des palées provisoires faites de pieux à vis en acier.

Appontement de Valparaiso (fig. 26 à 28). — On a construit dans la baie de Valparaiso un appontement le long duquel peuvent accoster

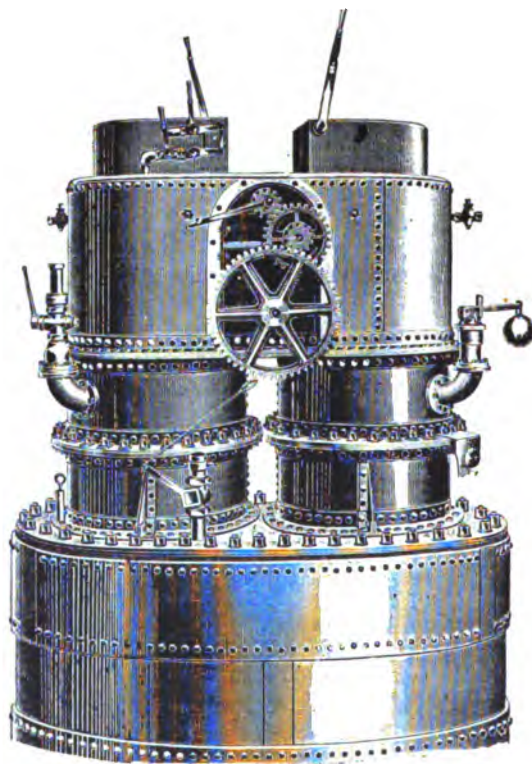


Fig. 26. — Valparaiso. — Vue du sas.

les grands vapeurs. Il se compose de longrines et pièces en fer supportées par cinquante-deux cylindres en tôle enfoncées à l'air comprimé et remplies de béton. Leur diamètre est de 3,50 *m*.

La figure 28 représente la coupe de l'un des cylindres. Sauf à la chambre de travail, l'intérieur est partagé par une enveloppe concentrique en deux portions d'égale surface. L'espace annulaire est rempli de béton à mesure de l'enfoncement ; et comme cette maçonnerie pèse à peu près le double de l'eau, son poids équilibre la sous-pression.

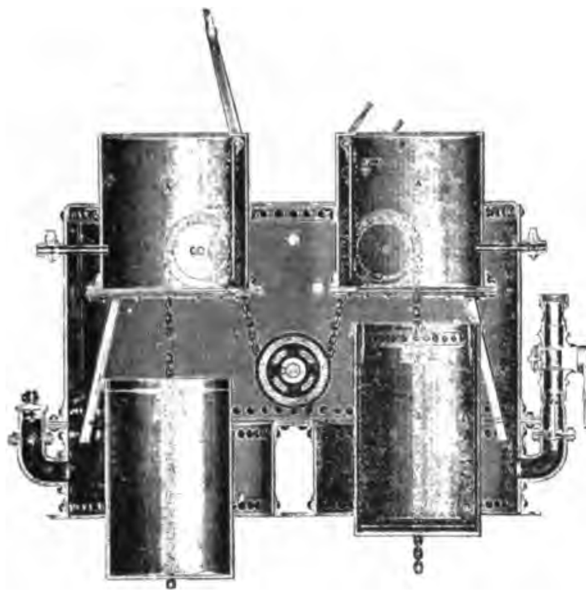


Fig. 27. — Valparaiso. — Coupe du sas.

L'espace intérieur reçoit l'air comprimé. Son extrémité supérieure est fermée, et sur le fond sont installées deux cloches A munies d'un couvercle qui s'ouvre de l'extérieur. Deux bennes B sont manœuvrées simultanément par des chaînes dont le dessin explique le jeu. Ces bennes peuvent s'appliquer contre la base ouverte des cloches A et la fermer hermétiquement, grâce à l'interposition d'une bande de caoutchouc.

Les bennes reçoivent le vase plein de déblais qui a été chargé au fond. Quand l'une d'elles ferme une cloche A, on ouvre le couvercle de cette cloche et les déblais sont extraits. Pendant ce temps, l'autre benne descend. On referme la cloche, on y renvoie l'air comprimé et ainsi de suite.

Les poulies qui font mouvoir la chaîne sont actionnées par un treuil extérieur, dont l'axe passe à travers un presse-étoupe.

Les cylindres s'enfonçaient sous leur seul poids; quand le frottement

était trop considérable, on laissait échapper l'air comprimé; la souspression était abolie et l'effet de la charge devenait décisif.

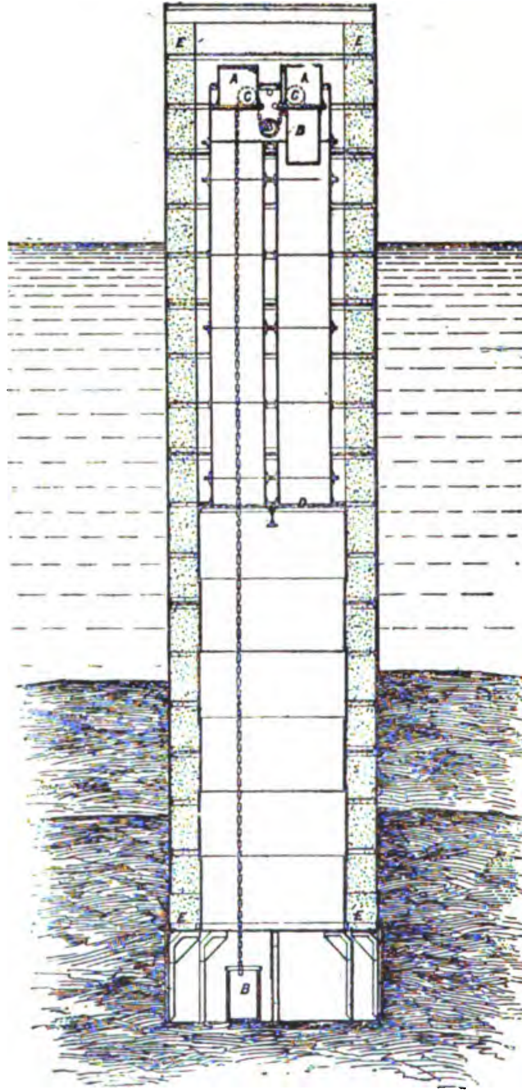


Fig. 28. — Coupe d'un cylindre de Valparaiso.

Les cylindres ont été ainsi descendus jusqu'à 32 mètres. On les mettait en place par deux en même temps.

Appontement de Pauillac (fig. 29).— L'appontement de Pauillac a été établi pour l'accostage des grands navires qui ne peuvent remonter à

Bordeaux. Il est parallèle à la berge dont il est distant de 150 mètres et se compose d'un tablier de 360 mètres sur 23,80 *m* reposant sur une série de palées de types différents, savoir :

1° Dix principales, espacées de 40,90 *m*, composées de deux piles en maçonnerie dont la distance transversale de 18 mètres est partagée en deux par un tube en fonte entretoisé avec elles. Les piles en maçonnerie sont destinées à donner à l'ensemble une résistance suffisante contre les chocs des navires.

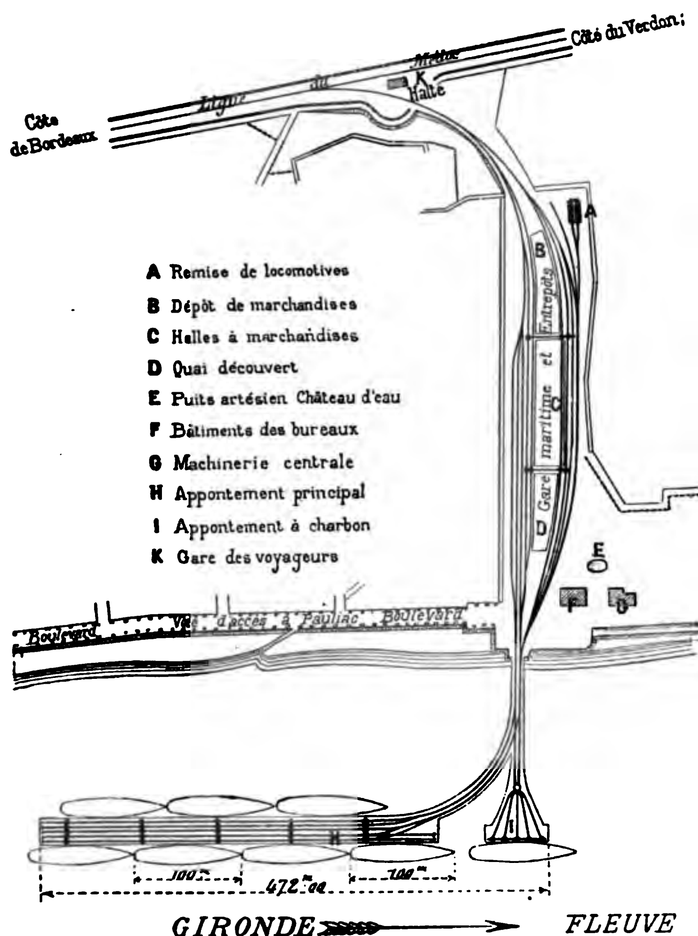


Fig. 29. — Plan de l'appontement de Pauillac.

2° Trois intermédiaires dans chaque intervalle de 40,90 *m*, constituées chacune par trois tubes en fonte distants de 9 mètres et entretoisés.

L'appontement est réuni à la rive par une passerelle courbe permet-

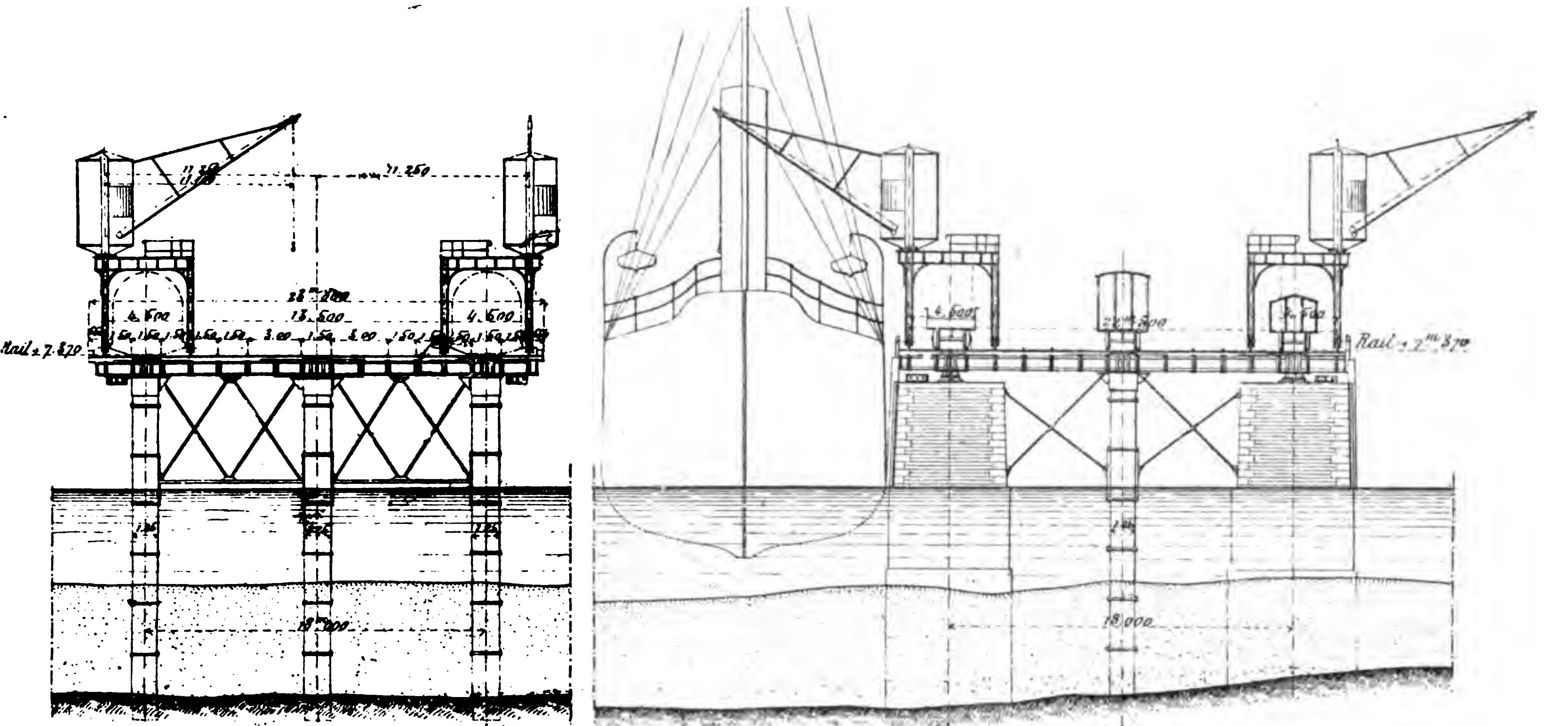
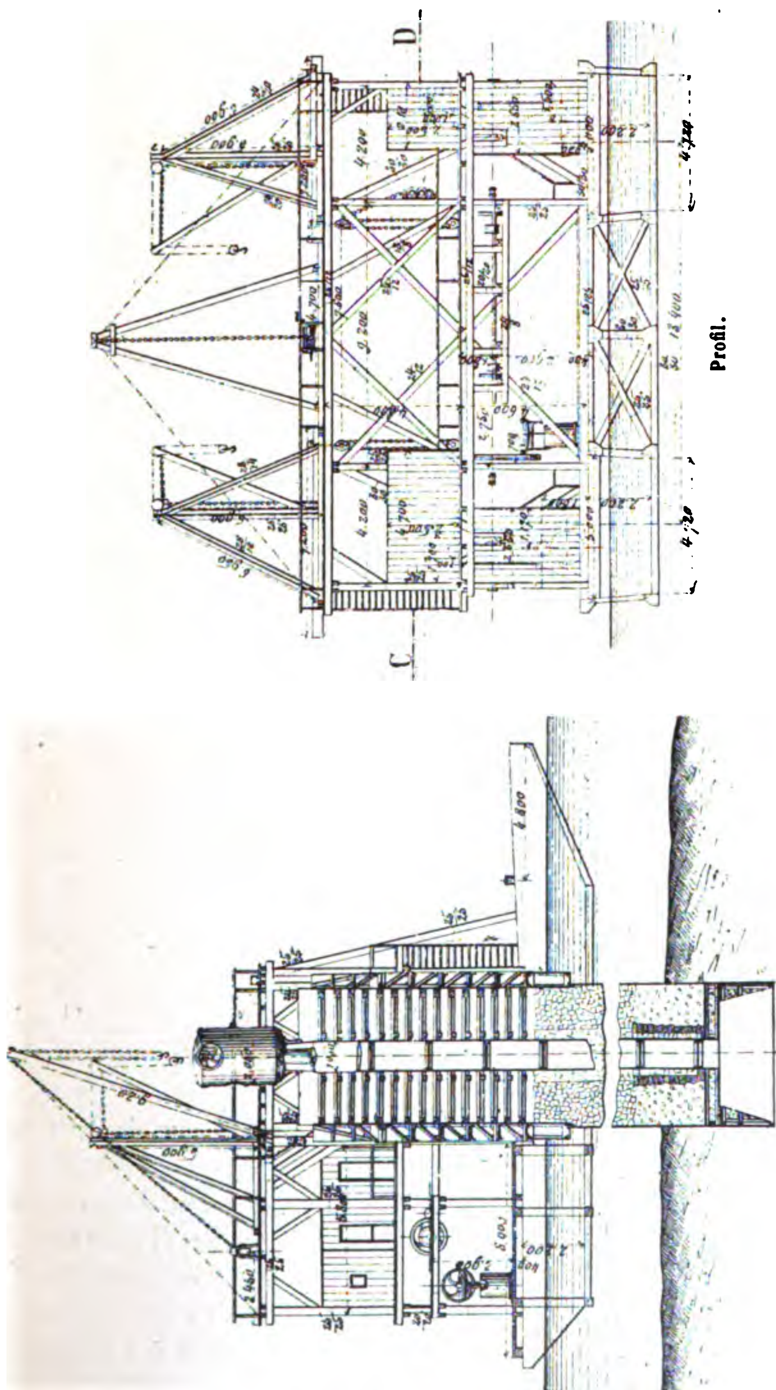


Fig. 30. — Pauillac. — Coupe transversale devant une palée principale.

tant l'accès direct des trains; elle porte deux voies ferrées ramifiées en



Coupe verticale. Profil.

Fig. 31 — Pauillac. — Echafaudage flottant.

cinq sur le tablier, où sont encore disposées deux voies pour les dix-huit grues hydrauliques de l'outillage.

Fig. 32. — Pauillac. — Echafaudage flottant. — Elévation.

Toutes les fondations ont été exécutées à l'air comprimé.

Les piles en maçonnerie reposent sur un fond rocheux qu'il a fallu niveler au moyen d'un caisson-cloche; elles ont été construites dans un batardeau amovible, qui n'a rien de spécial. Les échafaudages flottants qui servaient à le manœuvrer portaient également suspendu le caisson-cloche précédent.

Les courants violents de la Gironde, les différences considérables de la marée (5,75 *m*) obligeaient à modifier continuellement la tension des amarres.

Les colonnes en fonte, dont le diamètre n'était que de 1,25 *m*, avaient besoin pendant l'enfoncement d'un guidage absolument fixe. La difficulté se compliquait comme dans le cas précédent de la surveillance nécessitée par les amarres. Elle a été vaincue par l'établissement d'un pont mobile reposant sur des poutres portées elles-mêmes par les piles en maçonnerie de deux palées consécutives. Ce pont de service avait donc à franchir un intervalle de 40 mètres, et il dut être muni

d'un avant-bec et d'un arrière-bec pour le lancement d'une travée à l'autre. Sa longueur atteignit ainsi 89 mètres et son poids 150 tonnes.

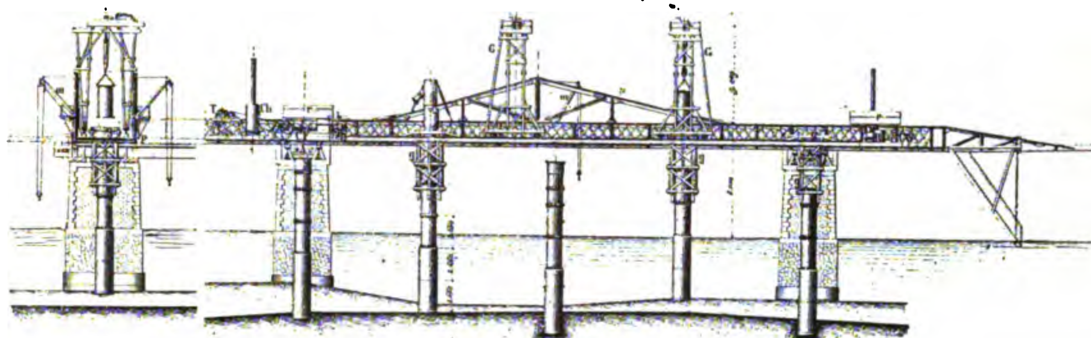


Fig. 33. — Pauillac. — Pont de service pour le fonçage des tubes.

Il reposait sur des glissières permettant de le déplacer latéralement pour la mise en place successive des trois rangées de colonnes.

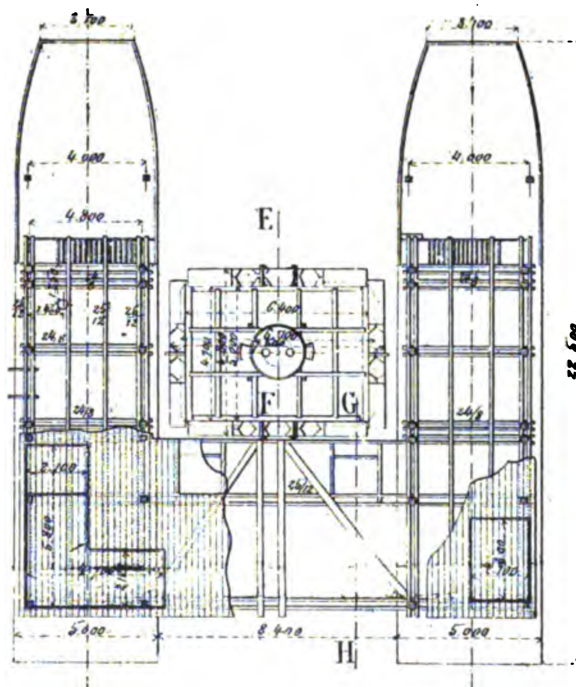


Fig. 34. — Pauillac. — Echafaudage flottant. — Coupe suivant CD.

Le guidage était facilement établi sur le pont de service ; les tubes, composés d'un nombre d'anneaux de fonte suffisants pour dépasser le

niveau de l'eau bien qu'enfoncés dans la vase par leur propre poids, étaient alors coiffés d'un sas. Deux hommes travaillaient dans le fond à l'extraction des déblais. Le cylindre, une fois arrivé à sa place, était rempli de béton.

4° Ouvrages en mer construits dans des caissons

a. — Caissons fixes.

Nouvelle jetée Est de Dunkerque. — Le nouveau chenal de Dunkerque a été élargi à 120 mètres, par la reconstruction de la jetée est en dehors de la première.

De nombreuses épaves sillonnant l'emplacement des fondations et les rendant très difficiles, l'emploi de l'air comprimé était indiqué. Les maçonneries ont été exécutées dans 38 caissons de 20 à 22 mètres de longueur sur 6,50 *m* de largeur, montés et lancés dans le port, puis échoués à mer basse et rapidement chargés de béton à la marée, dans l'espace constitué par une hausse d'un mètre de hauteur (fig. 36).

Fig. 35. — Estacade de raccordement. Jetée Est de Dunkerque.

Lorsque la charge était suffisante pour empêcher le soulèvement à mer haute, les cheminées étaient placées; le travail d'excavation commençait tandis que se continuaient les maçonneries à la marée.

Le moment critique était celui du remplissage de la chambre de travail, à cause des fréquentes ruptures des conduites d'air comprimé,

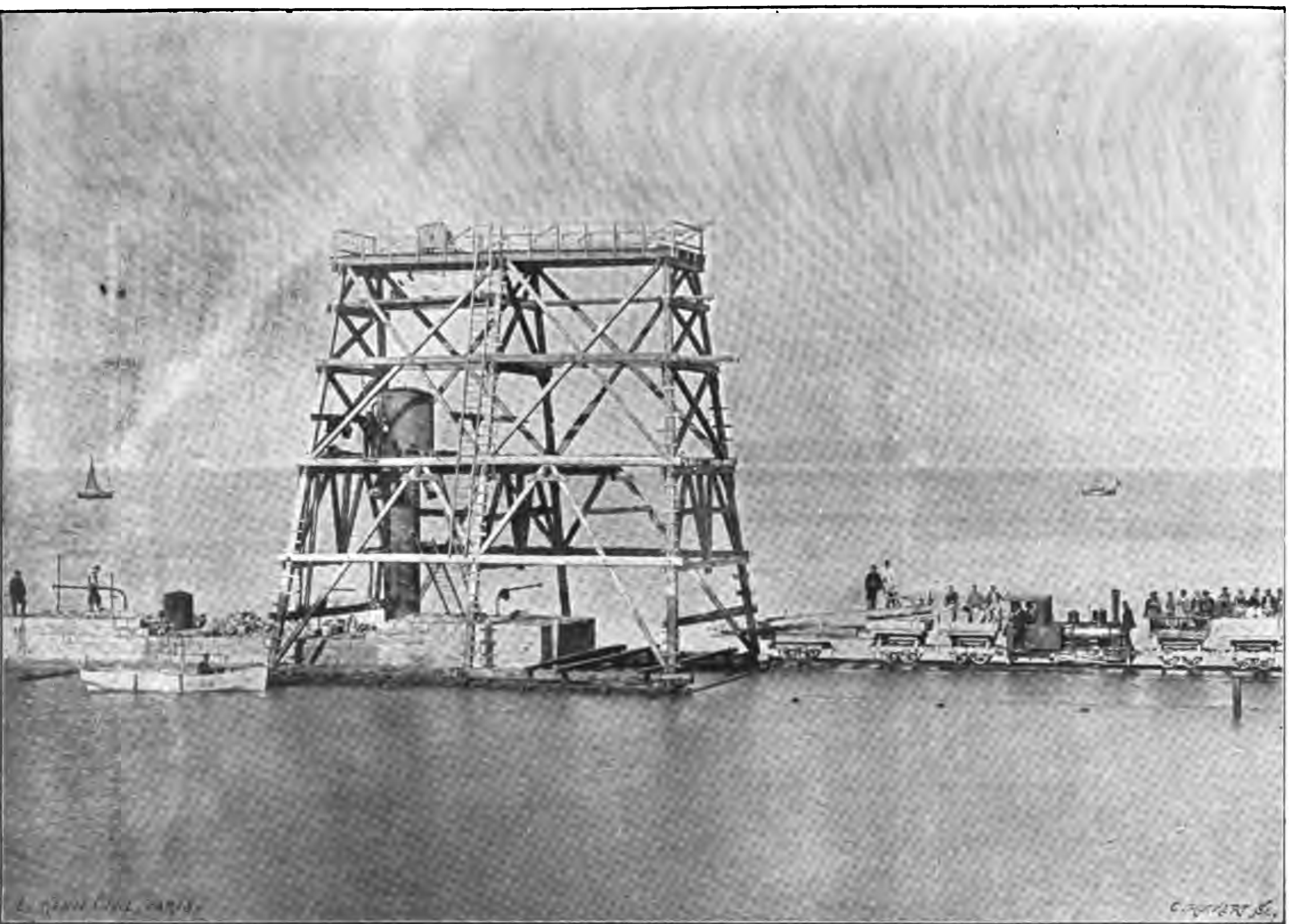


Fig. 36. — Construction de la jetée Est de Dunkerque.

ruptures occasionnées par l'agitation de la mer. L'eau a parfois pénétré et délavé le béton; l'invasion était d'ailleurs lente et sans danger pour le personnel, car l'air s'échappait difficilement.

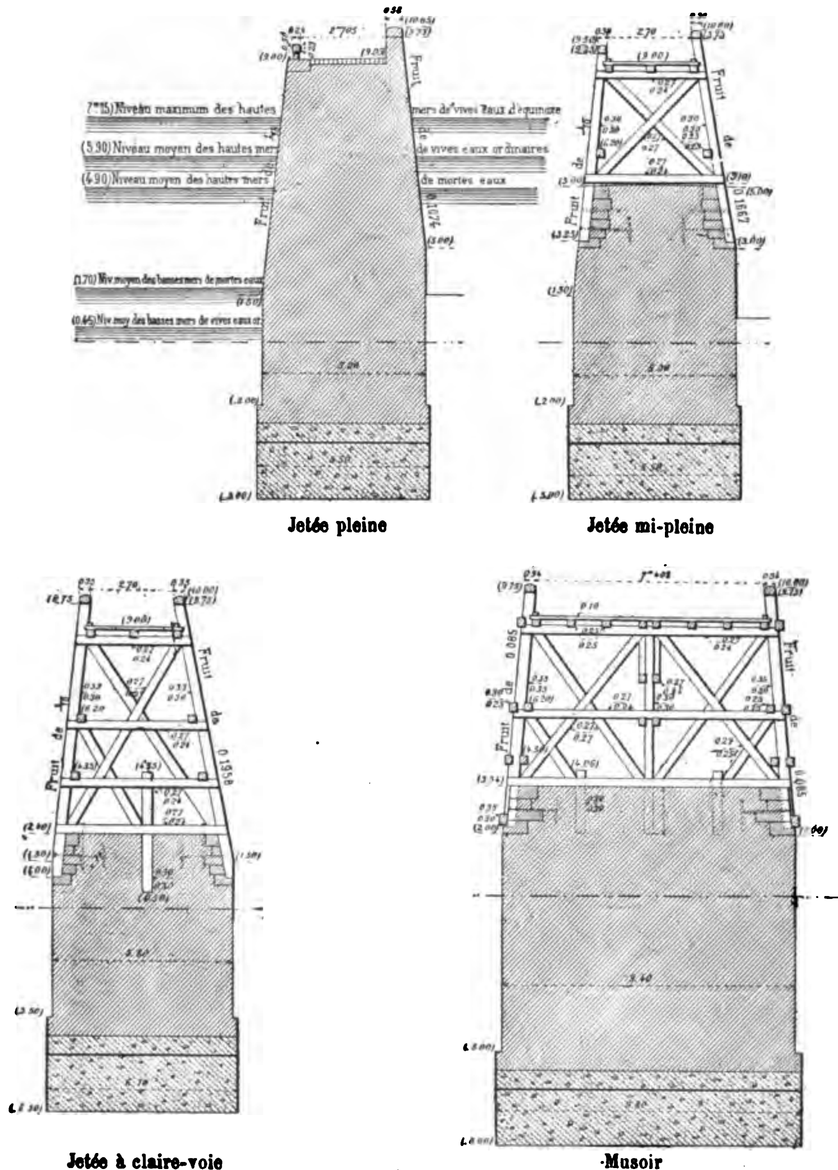


Fig. 37. — Divers profils de la jetée Est de Dunkerque.

Les maçonneries ont été descendues à la cote — 5 mètres et même à — 8 mètres dans les endroits vaseux.

Les 160 premiers mètres de la jetée sont occupés par le seuil d'un brise-lames incliné à $\frac{1}{10}$ (fig. 107, page 234). Dans cet intervalle, la largeur des caissons était réduite à 4,20 *m*. La jetée comprend ensuite trois tronçons : l'un de 250 mètres est plein jusqu'à la hauteur du tillac; le second de 150 mètres s'élève à la cote + 5 mètres et le troisième, de 200 mètres, à la cote + 2 mètres. Le tillac est supporté à la cote + 9 mètres par une estacade dans les tronçons trop bas. Sa largeur de 2,70 *m* atteint 9,40 *m* au musoir.

b.— Caissons mobiles.

La Pallice (pl. 3 et 4). — Les môles sont composés de grands blocs de maçonnerie de 20,50 *m* sur 8 mètres fondés sur la couche calcaire et élevés à la cote + 1,50 *m*, surmontés d'une superstructure édifiée à la marée.

Les blocs ont été construits dans deux caissons mobiles semblables, de 22 mètres sur 10 mètres. La chambre de travail a 1,80 *m* de hauteur, celle d'équilibre 2 mètres. Sur le caisson, un échafaudage en fer de 7 mètres de hauteur supporte une plateforme (16 × 4 mètres), d'où descendent à la chambre de travail quatre cheminées dont deux servent au passage des ouvriers et au service du mortier, les deux autres aux matériaux et à l'extraction des déblais.

L'air était comprimé à terre et amené au caisson par des conduites installées sur une passerelle dont le tablier, fixe, se raccordait par un pont mobile avec la plateforme, pour en suivre les oscillations suivant la marée. Cette passerelle servait à la manutention des matériaux et au passage du personnel.

Les caissons travaillaient en pleine mer, la rade étant d'ailleurs très protégée par l'île d'Oléron. Ils pesaient 110 tonnes et portaient dans la chambre d'équilibre une charge permanente de 220 tonnes en maçonnerie; le tirant d'eau, en dehors du travail, était de 3,30 *m*.

Le caisson était déhalé à haute mer, à l'emplacement du bloc à construire, sur six amarres frappées à terre ou sur des ancres; une fois en position, on remplissait la chambre d'équilibre d'eau, et le caisson reposait sur le sol. On établissait à la partie supérieure, avec des gueuses de fonte, une surcharge de 400 tonnes nécessaire comme contrepoids à la sous-pression.

Les fouilles étaient alors exécutées à la profondeur nécessaire ; elles étaient réglées de façon à maintenir le caisson de niveau, et l'on construisait sur le fond une hauteur de 80 *cm* de maçonnerie. L'espace restant au-dessus n'était plus alors que d'un mètre, et il eût été très gênant de le réduire; il fallait donc à ce moment élever le caisson.

Vingt-quatre vérins à vis en acier, de 10 *cm* de diamètre et 1,80 *m* de longueur, étaient installés à 1,50 *m* de distance des parois et à intervalles égaux; ils passaient dans des écrous en bronze rivés au plafond de la chambre de travail; leur base hémisphérique portait sur une plaque en fonte.

La longueur était réglée de façon que cette plaque touchât la maçonnerie quand elle était arrivée à la hauteur de 80 *cm*. En agissant uniformément sur les vis, on pouvait donc relever le caisson, en s'aidant d'ailleurs de six vérins hydrauliques. Ce relèvement était borné à 40 *cm*. Le caisson reposait alors sur 12 vérins seulement, et les autres étaient montés pour pouvoir hausser la maçonnerie de 40 *cm* à leur place. On s'appuyait sur ce cordon avec les 12 vérins primitivement soulevés; les autres l'étaient à leur tour et l'on continuait ainsi, exécutant la maçonnerie par assises, jusqu'à la cote + 1,50 *m*.

Quand les grosses mers obligeaient à un arrêt, les 24 vérins étaient mis en position, le caisson étayé et l'on faisait porter le plafond sur quatre piliers en maçonnerie, qui étaient détruits à la reprise du travail.

Il fallait deux hommes par vérin, soit 60 en tout, et le levage de 40 *cm* exigeait une heure trois quarts. Le travail continuait nuit et jour; sur 24 heures, 8 étaient employées à maçonner et 16 au levage et aux approvisionnements. Dans le caisson, 15 maçons et 30 manœuvres exécutaient journellement 50 mètres cubes de maçonnerie.

Le déplacement du caisson, après la construction du bloc, exigeait une marée élevant le niveau à +5,40 *m*. Le tirant d'eau étant de 3,30 *m* et la maçonnerie étant arasée à + 1,50 *m* il fallait bien en effet au moins les 60 *cm* qui restaient, pour prévoir un talonnement. Le lest en fonte était retiré et déposé sur un bateau, l'eau était chassée de la chambre d'équilibre; le caisson remontait avec la marée et l'on se déhalait sur les amarres jusqu'au nouveau poste de fabrication. Cette opération durait neuf heures, à cause de la marée ; aussi devait-on attendre un temps très sûr.

Les intervalles de 2 à 3 mètres entre les blocs étaient recouverts de

petites voûtes, et laissés ouverts en dessous; ils furent fermés plus tard pour opérer les dérochements sous-marins. Comme peut-être il eût été nécessaire d'opérer cette occlusion en tous cas, afin d'assurer la tranquillité de l'avant-port, nous décrirons ici le procédé employé.

On ne pouvait songer ni à couler en place du béton qui n'aurait pas fait corps avec les parois des blocs, salies par les végétations, ni à employer un petit caisson mobile que les vagues et les courants auraient déplacé.

Le pertuis fut converti en un caisson par la fermeture des deux côtés au moyen de panneaux métalliques formés de cadres en tôle et cornières de 40 et 50 *cm* de hauteur, qui pouvaient être réunis par des boulons avec interposition de bandes de caoutchouc. Les panneaux étaient recourbés sur leurs côtés supérieur et latéraux en patins qui s'appuyaient sur les côtés des blocs. On les mettait en place au moyen de treuils.

Les panneaux de chaque côté devaient être réunis par des tirants à vis attachés par des boulons aux cornières de chacun des cadres. Pour les placer, quand les panneaux étaient suspendus aux treuils, des ouvriers descendaient dans le pertuis par une cheminée à sas pratiquée dans la voûte et posaient les tirants du cadre inférieur, qu'on serrait peu; le panneau était descendu de la hauteur d'un cadre dont on posait les tirants, et ainsi de suite.

Tous les tirants étant posés, ceux des cadres supérieurs qui se trouvaient au-dessus du niveau de l'eau étaient serrés à fond; on faisait avec de la glaise, du ciment à prise rapide et de l'étoupe un joint étanche jusqu'à ce niveau, et l'air comprimé conduit dans l'espace clos repoussait l'eau assez bas pour permettre de placer un tirant inférieur, de continuer le joint jusque là, et ainsi de suite. On arrivait de cette manière au bas du panneau, qui s'était arrêté sur le sable du fond.

Là, on construisait de chaque côté, avec du ciment à prise rapide, deux murettes de 50 *cm* de hauteur; jusqu'à leur base l'eau était refoulée par l'air comprimé; après déblaiement à ce niveau, deux murettes étaient reconstruites en dessous; le travail continuait jusqu'au fond solide.

Le remplissage du pertuis en maçonnerie s'exécutait alors; il a été complet jusqu'au niveau du cadre inférieur. Au-dessus, jusqu'à la cote + 1 mètre, la maçonnerie était élevée en retraite de 50 *cm* en face de chaque panneau et dans cette rainure étaient scellés des crampons en fer sur lesquels les panneaux ont été serrés par des chevilles. A la cote

$+$ 1 mètre les chevilles étaient chassées et les panneaux dégagés servaient à un autre pertuis ; le vide au-dessus était rempli à la marée.

5° ECLUSES

Écluse de Dieppe. — Le bassin de mi-marée de Dieppe communique avec l'avant-port par une écluse de 30 mètres de longueur et 18 mètres de largeur, fondée sur une couche très perméable de galets, au moyen de l'air comprimé.

La construction s'est faite dans un caisson unique en tôle ayant 35,40 $\times$ 33,50 *m*, et une hauteur totale de 16,60 *m*; de telle sorte que le fonçage étant terminé à la cote — 6,60 *m*, le bord supérieur atteignait la cote $+$ 10 *m* correspondant aux plus hautes marées.

La chambre de travail, haute de 1,80 *m*, était divisée par une poutre transversale médiane et cinq poutres longitudinales en douze compartiments de 5,90 *m* de largeur sur 16,75 *m*, de longueur, communiquant entre eux, l'âme des poutres étant en treillis. Caisson et poutres étaient armés, à leur base, d'un couteau en tôle de 18 *mm* d'épaisseur et 15 *cm* de hauteur, renforcé par deux cornières.

Les cloisons des compartiments, comme d'usage, étaient garnies sur leur pourtour de contrefiches espacées les unes de 1,047 *m*, les autres de 985 *mm*. La portée du plafond en était réduite à 4,10 *m* dans le sens transversal et 14,95 *m* dans le sens longitudinal.

Le plafond, de 6 *mm* d'épaisseur, était consolidé par une série de 31 poutres transversales espacées de 1,047 *m*, mesurant alternativement 2,10 *m* et 80 *cm* de hauteur.

Ces poutres transversales étaient croisées à angle droit par cinq poutres longitudinales de 2,10 *m* de hauteur, qui prolongeaient au-dessus du plafond les divisions des compartiments de la chambre de travail. Leur hauteur totale était donc de 3,95 *m*. A leurs extrémités elles étaient surmontées de fermes en cornières soutenant les tôles formant parois amont et aval du caisson ; dix fermes plus petites, fixées aux extrémités de cinq des poutres transversales, consolidaient les parois correspondant aux bajoyers.

Les parois avaient une épaisseur de 6 *mm* sur la hauteur de la chambre de travail et des poutres du plafond, soit sur 4,15 *m* ; de 5 *mm* sur les 3,15 *m* au-dessus ; et de 3 *mm* sur les 6,30 *m* restants. Elles étaient formées de feuilles de tôle de 1,10 *m* de hauteur, se recouvrant

de 5 *cm* et raidies par deux cours horizontaux de petites cornières.

Le poids total des fers était de 561 tonnes.

L'emplacement de l'écluse ayant été dragué à la cote 0 et limité sur trois côtés par un échafaudage de service, le caisson y fut amené en une grande marée, tout monté; l'échafaudage sur le quatrième côté ayant été complété, le caisson fut échoué par un chargement de béton sur le plafond de la chambre de travail.

On consolida alors les parois. Des cours horizontaux de petites poutrelles en sapin de 15 × 15 *cm* espacées de 33 *cm* furent boulonnées sur les tôles, les écrous placés à l'intérieur, afin d'assurer la facilité de l'enlèvement des poutrelles.

Devant ces poutrelles on appliqua des montants verticaux de 30 × 30 *cm* espacées de 1,50 à 2 *m*. Les montants correspondants des faces opposées du caisson furent ensuite contre-boutés par une série de cours horizontaux de poutres de 25 à 30 *cm* ayant les dimensions du caisson (32,60 *m* pour les cours longitudinaux et 34,50 *m* pour les transversaux). Ces cours étaient espacés dans le sens vertical de 1 à 2 mètres d'axe en axe. Les poutres étaient formées de plusieurs morceaux posés bout à bout sans assemblage. On réunissait deux pièces consécutives par un double crochet en fer enfoncé au marteau; les pièces des cours longitudinaux et celles des transversaux étaient boulonnées ensemble.

Pour lier la charpente et supporter le plancher supérieur ainsi qu'un plancher intermédiaire de service, on avait disposé transversalement à l'écluse cinq grandes fermes composées de sept poteaux verticaux de 28 × 28 *cm* reposant sur les semelles supérieures des poutres du plafond, doublement moisées au haut et vers le milieu de leur hauteur, et reliées par des contrefiches aux poutres transversales et longitudinales portant les planchers de service.

L'enfoncement a été obtenu en ajoutant au poids du béton une surcharge en galets. Comme elle devait être enlevée à mesure de la construction de la maçonnerie, elle était placée dans des compartiments formés par des cloisons en madriers appuyées sur les poutres d'étrésillonnement et composant trois zones divisées transversalement aussi en trois parties; il y avait donc neuf cases. Le galet y était accumulé sur une hauteur moyenne de 4,20 *m* au-dessus du béton.

Chacun des douze compartiments de la chambre de travail était muni, pour le fonçage, d'une cheminée et d'un sas; les poulies des sas étaient

actionnées simultanément par une locomobile de 10 chevaux. Trois autres locomobiles, donnant ensemble 28 chevaux, conduisaient les pompes-compresseurs.

Après le bétonnage de la chambre de travail et l'obturation des cheminées, on a procédé à l'exécution des maçonneries qui devaient, ainsi qu'on vient de le dire, être élevées par parties pour remplacer le galet extrait des cases. Il fallait déplacer les pièces de consolidation en disposant des étais provisoires, et l'on a dû construire successivement chaque bajoyer, puis le radier et enfin la partie centrale correspondant au busc, formé de pierres de taille volumineuses et placées avec une grande précision.

6° MURS DE QUAI

Anvers. — Lorsque les caissons servent à la construction d'une maçonnerie, ils sont d'ordinaire surmontés de hausses constituant une enceinte à l'air libre, où travaillent les maçons. Cette disposition a l'inconvénient de nécessiter une grande dépense de fer. A Anvers, les quais de l'Escaut ont été édifiés dans un appareil composé de deux parties : un caisson amovible supérieur, où se maçonne le mur et qui est ensuite enlevé pour servir à la construction d'un nouveau tronçon.

Le mur devait reposer sur une fondation en béton de 9 mètres de largeur, d'une hauteur variable de 2,50 *m* à 5 mètres, arasée à 8 mètres sous l'eau. A partir de ce niveau commençait la maçonnerie.

Le quai a été construit par tronçons de 25 mètres; le caisson inférieur avait 25 mètres de longueur, 9 mètres de largeur et une hauteur de 2,50 *m* à 5 mètres; son poids variait de 60 à 100 tonnes. La chambre de travail inférieure avait uniformément 1,90 *m* de hauteur; si les caissons étaient plus élevés, on les partageait en deux étages, dont le supérieur était rempli de béton.

Le batardeau mobile est une caisse sans fond, ayant les mêmes dimensions horizontales que le caisson et haute de 12 mètres, elle peut se boulonner avec celui-ci sur une cornière placée tout autour du plafond supérieur; l'interposition d'une plaque de caoutchouc assure l'étanchéité. Le batardeau est suspendu par douze palans à chaînes à un échafaudage métallique porté sur deux chalands qui se trouvent l'un du côté de la terre, l'autre sur le fleuve, le quai étant construit à une certaine distance de la rive. Les chalands ont 26 mètres sur 5,15 *m*; des entretoises supérieures assurent leur écartement invariable. Le batar-

deau suspendu se place au-dessus du caisson auquel on le boulonne; on épuise l'eau de la caisse supérieure et l'on fixe les cheminées d'accès au caisson qui sont au nombre de sept, une grande avec sas pour les ouvriers, quatre petites pour le béton et deux tuyaux de refoulement des déblais, refoulement opéré par des éjecteurs. On insuffle alors de l'air comprimé dans le caisson qui tend à se soulever et se colle contre le batardeau, ce qui permet le serrage des boulons à bloc.

Le béton est coulé dans la chambre supérieure du caisson, si elle existe, et sur le plafond, jusqu'au niveau de la face supérieure des poutres. Puis la maçonnerie s'exécute à l'air libre dans le batardeau; l'ensemble s'immerge à mesure. On donne peu à peu du mou aux chaînes des palans, qui sont complètement lâchées quand le sol est atteint.

Les fouilles s'exécutent ensuite dans la chambre de travail; le caisson continue à descendre et les maçonneries sont élevées en même temps. Quand la fouille est terminée, on remplit le caisson de béton; les cheminées sont enlevées et leur emplacement est comblé de même. Puis la maçonnerie terminée au-dessus du niveau de l'eau, le déboulonnement du batardeau est effectué dans une chambre qu'il porte à sa périphérie et qui est remplie d'air comprimé pendant cette opération.

L'intervalle entre deux tronçons est rempli de béton comme de coutume.

Le travail s'est effectué avec trois batardeaux. La machinerie, actionnée par une machine à vapeur de 30 chevaux, se trouvait dans les chalands. La pression maxima a atteint 2,5 atmosphères.

Les déblais étaient délayés dans un bac en tôle et expulsés par un éjecteur.

Nouveau quai d'Anvers (pl. 6). — Le nouveau quai d'Anvers, en ce moment en construction, est édifié suivant le même principe, mais avec d'intéressantes modifications.

Le mur est fabriqué par tronçons de 30 mètres. Le caisson a donc cette longueur sur 9,50 *m* de largeur et 3,50 *m* de hauteur, avec chambre de travail haute de 1,70 *m*. Il est surmonté de hausses métalliques de 2,45 *m* de hauteur. C'est sur ces panneaux que se boulonne le batardeau mobile qui, comme l'ancien, possède pour cet usage une chambre où l'on accède par quatre cheminées.

Supérieurement, le batardeau se termine par un plafond horizontal, portant cinq tronçons de cheminées correspondant aux deux bétonnières et aux puits d'accès à la chambre de travail.

Avec cette nouvelle disposition, le batardeau est allégé et la variation de charge due à la marée pendant le fonçage est diminuée.

Quais de Boulogne. — Boulogne est surtout un port de pêche; mais depuis la construction du môle Carnot, il sert aussi de refuge à nombre de navires pendant les tempêtes, l'entrée en étant facile. On a creusé le port de marée à des cotes diverses (— 3,50 *m*, — 4,50 *m* et — 7 mètres) suivant les navires auxquels sont affectées les portions de quais avoisinantes. La fouille à — 7 mètres a été effectuée sur 145 mètres pour les transatlantiques qui relient Boulogne à New-York.

Ces fouilles ont exigé des quais à fondations profondes, qui ont été établis à 7,50 *m* en avant des anciens, à l'air comprimé dans des caissons de 23 à 27 mètres de longueur sur 6 mètres de profondeur uniforme ; les blocs ont été ensuite réunis par le procédé ordinaire, c'est-à-dire par épuisement des fouilles blindées latéralement et remplissage de béton.

Quais de Calais. — Les quais du nouvel avant-port de Calais, établis par le procédé d'injection d'eau, avaient été construits à sec à l'abri d'un batardeau de protection, mais une portion, formant les quais Nord et Sud, n'étaient pas exécutée quand fut détruit le batardeau, et l'on a dû la fonder dans l'eau, au milieu de la marée. Le système pneumatique s'imposait.

Les caissons employés avaient 16 mètres de longueur; leur largeur a varié de 6,50 *m* à 8 mètres suivant la profondeur atteinte ; la maçonnerie construite avec leur aide a été élevée jusqu'à la hauteur des pleines mers, pour supprimer le travail à la marée.

La jonction des caissons n'a pu s'établir par simple épuisement, à cause de la finesse du sable ; elle a été elle-même exécutée à l'air comprimé.

Les blocs voisins, espacés de 80 *cm*, portaient chacun une rainure d'un mètre de profondeur sur 4,50 *m* de largeur, vis-à-vis l'une de l'autre. La distance du fond d'une rainure à l'autre était donc de 2,80 *m*. On constituait ainsi un évidement de $4{,}50 \times 2{,}80\,m$. Après avoir fermé par des pieux longs de 20 mètres l'intervalle entre les deux caissons pour éviter de nouveaux afflux, on pratiquait la fouille dans l'évidement, par un petit caisson de $3{,}80 \times 2{,}30$ et l'on bétonnait dans la chambre de travail tout en remontant le caisson par les vérins auxquels il était suspendu.

Dunkerque. *Avant-port* — Une longueur de 451 mètres des murs de quai près de l'écluse Trystram a été fondée au moyen de 18 caissons à l'air comprimé, sur une couche de sable fin, à des cotes de — 7 à — 9 mètres, et est arasée à la cote + 8 mètres, ce qui donne des hauteurs de 15 à 17 mètres.

Les caissons ont une largeur de 6,50 et 7,15 *m* suivant les cotes de fondations. La hauteur se compose de la chambre de travail qui a 1,80 *m*, du poutrage : 60 *cm* et d'une hausse mobile : 40 *cm*.

Neuf caissons ont une longueur de 30 mètres; les autres, à cause de sujétions locales, de 10 à 22 mètres. Ils sont écartés de 50 *cm* et terminés à chacune de leurs extrémités par deux oreilles séparées par un intervalle de 3 mètres, qu'on remplissait au moyen d'un petit caisson de 2,50 × 2 *m* suspendu à quatre vérins.

La durée du travail a été en moyenne de deux mois par caisson, elle s'est élevée jusqu'à quatre mois et demi.

Bordeaux. — Avant les derniers quais verticaux établis à Bordeaux, on en avait construit deux autres, qui tous deux avaient glissé vers la rivière, et dont on n'a pu arrêter la marche qu'en les reliant par de longs tirants à des maçonneries, enlevant le terre-plein du quai et soutenant la chaussée par des voûtes. Encore la stabilité a-t-elle toujours été précaire.

Même les murs du bassin à flot, fondés par havage, ont éprouvé des glissements.

Les nouveaux quais ont été établis sur le principe suivant : arrêter la poussée par un massif d'enrochements qui se tient sous son talus naturel, et construire la chaussée sur des voûtes au-dessus de ce massif. Les murs sont de deux types.

Premier type (fig. 38 et 39). — Les voûtes, de 12 mètres de portée, reposent sur des piles épaisses de 4 mètres. La profondeur d'eau à l'étiage devant être de 7 mètres et diverses considérations ayant fait fixer à + 3,50 *m* la cote de l'intrados au milieu des voûtes, celles-ci devaient donc avoir 10,50 *m* de largeur, pour que les enrochements, tangents à la courbe d'intrados postérieure et éboulés à 45°, se tinssent à l'aplomb extérieur du quai. En fait, cette largeur a été fixée à 10 mètres. Les voûtes, en arc surbaissé au sixième, ont 2 mètres de flèche, ce qui place les naissances à 1,50 *m* au-dessus de l'étiage.

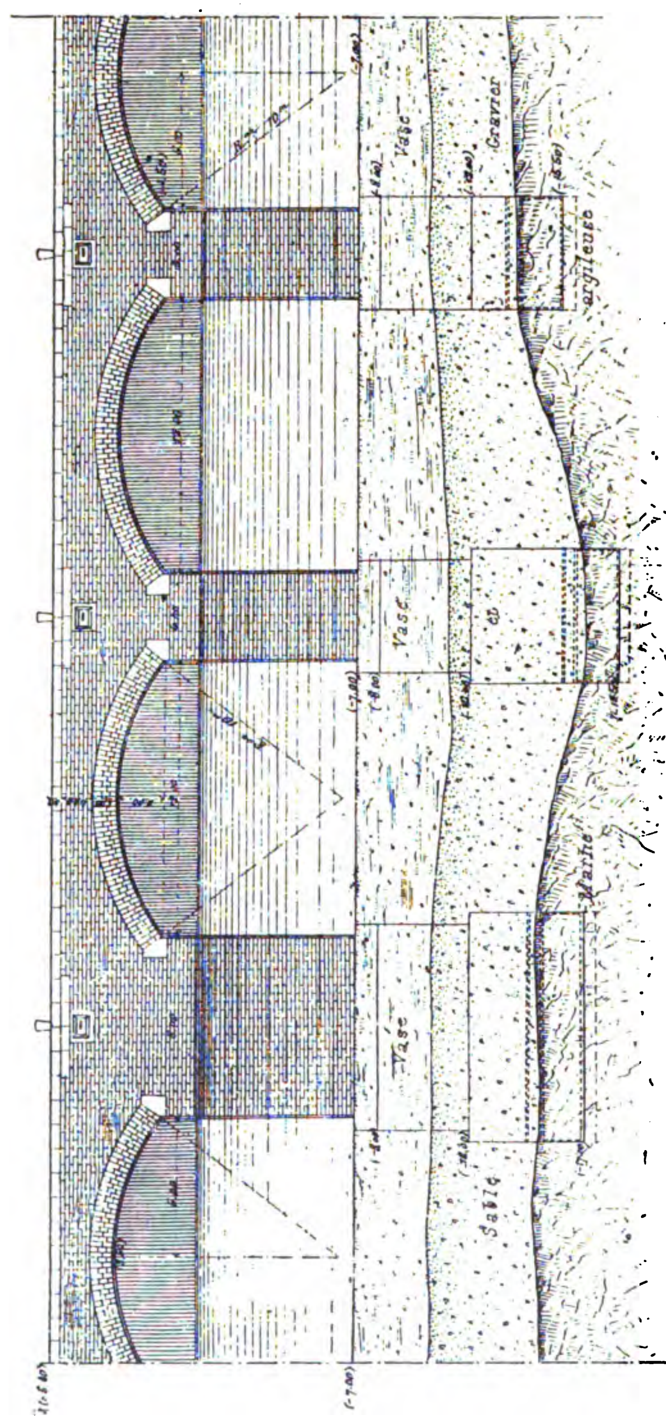


Fig. 38. — Elévation du quai (1er type).

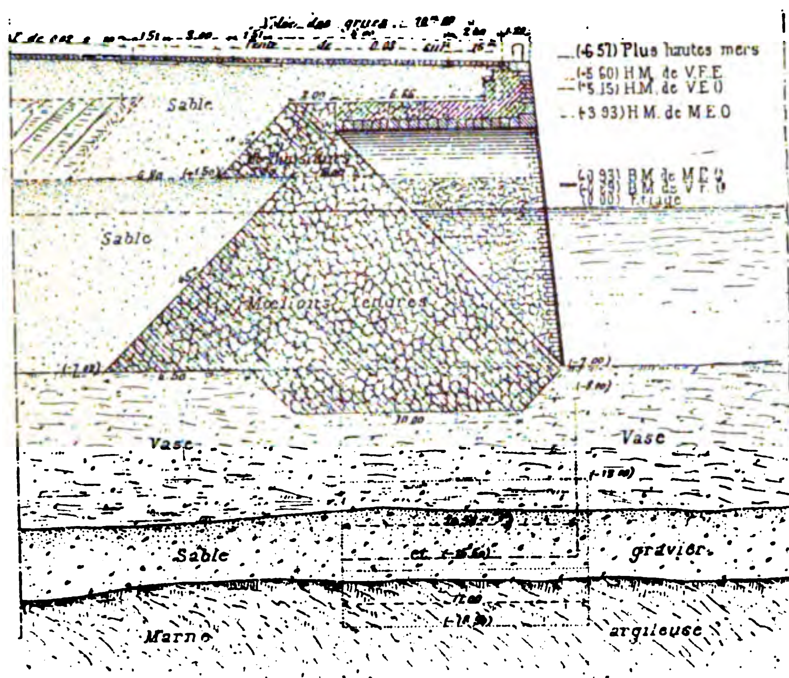


Fig. 39. — Bordeaux. — Coupe du quai (1er type).

Fondation des piles. — Elle a été faite à l'air comprimé sur un banc de marne jaunâtre, situé au-dessous de deux couches épaisses, l'une de vase, l'autre de sable. Le fonçage des caissons était rendu difficile à cause : 1° des courants, qui atteignaient 4 mètres à la seconde ; 2° de la marée qui monte de 3,50 *m* à 5,50 *m*, d'où une grande variation de pression ; 3° du mascaret ; 4° de la vase qui salissait les portions construites à la marée et dont le nettoyage faisait perdre beaucoup de temps ; 5° et surtout du fond de vase molle.

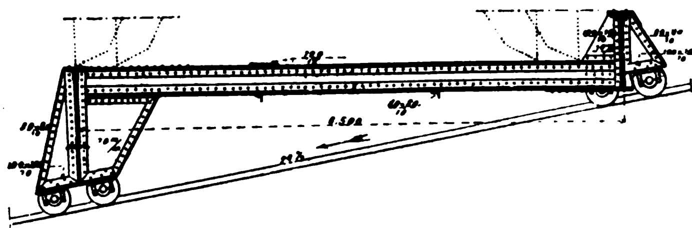


Fig. 40. — Bordeaux. — Chariot de lançage.

Le caisson ne comprenait pas de bordé métallique ; une fois la carcasse montée, on la plaçait sur un chariot de lançage (fig. 40) et là on

construisait, dans l'ossature de la chambre de travail entre les montants verticaux et les contrefiches des parois, une maçonnerie étanche qui remplaçait le bordé.

Le caisson mis à l'eau et remorqué à sa place était surmonté de hausses en tôle fixées aux montants verticaux qui continuaient ceux de la chambre de travail ; on constituait ainsi, au-dessus du plafond en

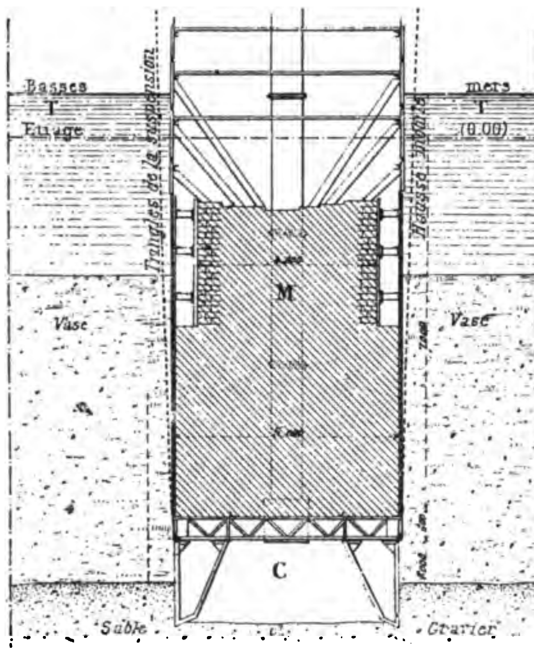


Fig. 41. — Bordeaux. — Caissons de fonçage (1er type)

tôle de cette chambre une caisse étanche, ouverte, où les maçons construisaient à l'air libre la maçonnerie des piles. Les hausses verticales n'étaient fixées que sur 7 mètres de hauteur ; au-dessus elles étaient mobiles et enlevées après l'achèvement du travail.

Quand le caisson touchait le fond, on déblayait la cheminée du sas et l'on fonçait en creusant comme d'ordinaire dans la chambre de travail.

Les hausses mobiles se reliaient aux fixes en pénétrant dans une rainure formée par deux fers plats qui bordaient la hausse inférieure ; des papiers feutrés interposés assuraient l'étanchéité. Les montants verticaux étant doubles, les tôles descendaient entre eux comme dans une trappe ; on les y coinçait par des planches de sapin. Le tout pouvait

donc être enlevé à la fin simplement par la traction ; on coupait les montants verticaux par de longs burins. Les liaisons des hausses entre elles étaient obtenues d'une façon analogue.

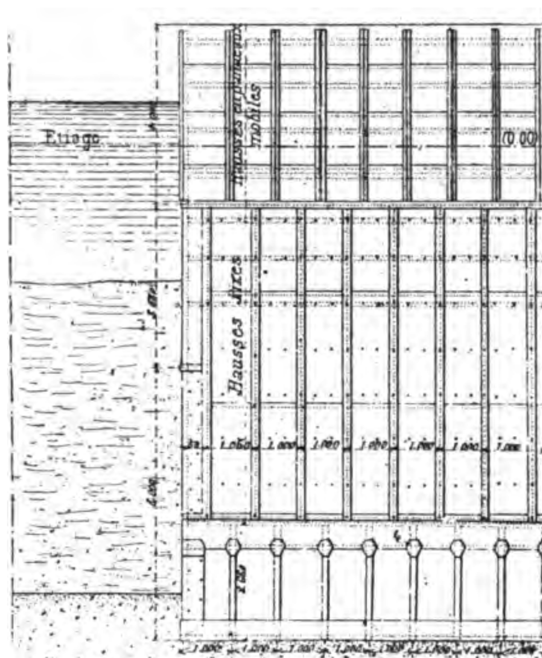


Fig. 42. — Bordeaux. — Caissons de fonçage. Elévation (1er type).

La maçonnerie, en s'élevant dans la caisse ouverte, faisait baisser le caisson, de sorte que vu la différence des poids, les maçons travaillaient

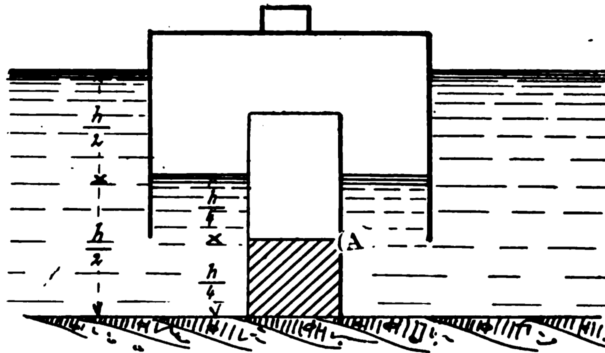


Fig. 43. — Double cloche.

au-dessous du milieu de la hauteur totale de l'eau ; or, celle-ci pouvant atteindre plus de 17 mètres en marée haute, la pression sur la caisse à

la hauteur de la partie en construction était donc de 8000 kilogrammes.

On était obligé d'étrésillonner avec de nombreuses pièces de bois très gênantes.

Il est intéressant de noter à ce propos un essai qui n'a pas été continué mais pourrait être repris avec avantage dans des conditions analogues. On recouvrait le caisson d'un second (fig. 43) où l'on comprimait l'air de façon à y abaisser le niveau de l'eau de la moitié de la hauteur totale. D'après ce qui a été dit ci-dessus, on voit que le point A où travaillaient les ouvriers ne se trouvait plus soumis qu'à la pression $\frac{h}{4}$

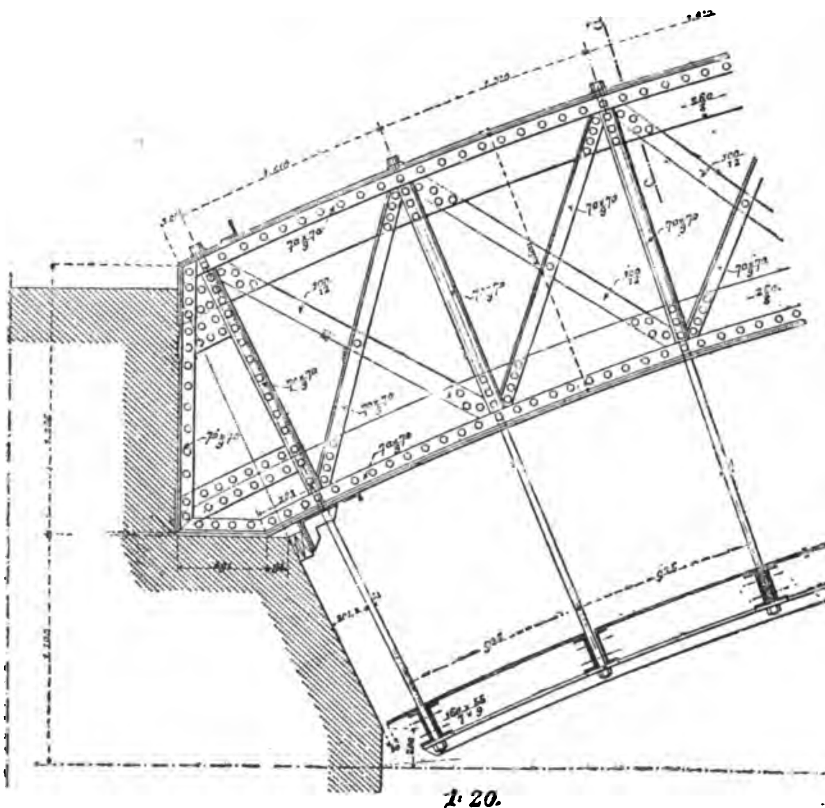


Fig. 44. — Cintre à couchis. Détail.

environ. Ce procédé a l'inconvénient de rendre difficile la mise en place du caisson et de faire travailler les maçons dans l'air comprimé.

Les voûtes du quai étaient construites au moyen de cintres à couchis, ou plaques de tôle portées par des tirants boulonnés à des arcs en

fer reposant sur les piles (fig. 44), système déjà employé à Gênes pour le quai *delle Grazie* (fig. 45).

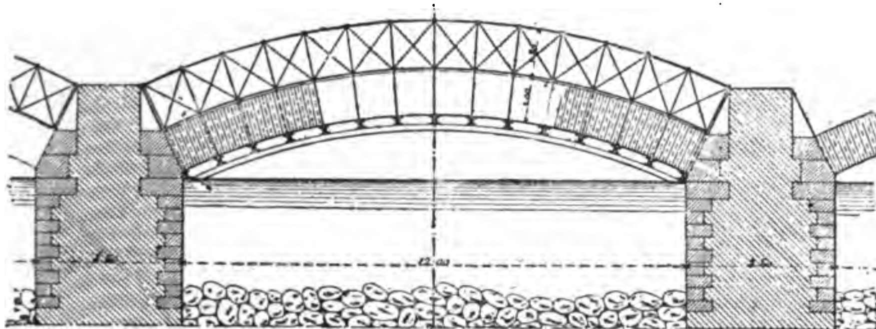


Fig. 45. — Emploi des couchis au quai delle Grazie, Gênes.

Deuxième type. — Jusque là la vase fluente n'avait pas été draguée de crainte de faire ébouler dans la fouille les enrochements des anciennes cales, très voisines. Plus tard, ces pierres furent soutenues par des pilots enfoncés à leur pied, et il fut possible de draguer à la cote — 9 mètres.

Les piles ont été fondées de même dans un caisson de 9,30 × 5,40 *m* avec une chambre de travail bordée en tôle ; on construisit au milieu de hausses fixes jusqu'à la cote – 9 mètres et la maçonnerie fut continuée au-dessus dans un batardeau mobile analogue à celui d'Anvers. Les cintres des voûtes étaient flottants, composés de six fermes à treillis simples suivant la courbe d'intrados et dont les extrêmes, pourvues d'un bordage, constituaient une caisse étanche ; elles reposaient sur des poutrelles fixées entre les piles au-dessous des naissances.

Quais de Lisbonne. — Ils sont fondés en partie sur le sol résistant, le plus souvent sur un sol artificiel créé au milieu de la vase, en y draguant une cuvette, qu'on remplit d'une couche de sable, sur laquelle on exécute un remblai de couches alternées d'enrochements calcaires et de sable qui remplit les vides des pierres. On obtient ainsi un terrain de fondation qui, après tassement, est capable de supporter la pression du mur de quai.

Celui-ci est composé de voûtes de 8 à 10 mètres de portée reposant sur des piliers de 4 mètres sur 8 mètres, la première dimension étant prise dans le sens du mur. Ces piliers sont fondés dans des caissons à

l'air comprimé, surmontés d'un batardeau mobile où se construit la maçonnerie jusqu'à la cote — 2 mètres au-dessous des plus basses mers; cette caisse mobile est alors enlevée par déboulonnage comme d'habitude.

La voûte, en arc de cercle surbaissé au sixième, se pose comme un linteau; on la construit dans une caisse en fer ayant la longueur et la largeur du mur et 1,35 *m* de hauteur, et surmontée d'un batardeau mobile constituant un compartiment ouvert, dans lequel on élève la hauteur du linteau à 2,50 *m*; l'ensemble, qui est flottant, est amené à sa place; on enlève alors la partie mobile, et le linteau avec sa caisse de fer reste posé, émergeant de 50 *cm* environ à très basse mer.

On remplit de béton sous l'eau l'espace entre deux linteaux, avec les précautions d'usage, et l'on achève le mur à la marée.

Sous les voûtes on verse un enrochement qui, comme à Bordeaux, sert à reporter en arrière du mur la poussée du remblai d'arrière, exécuté en sable.

La pression sur le sol artificiel ne dépasse par 4,25 *kg* par centimètre carré.

7° BASSINS DE RADOUB

Missiessy.— Les deux premières formes construites dans la darse de Missiessy à Toulon devaient être fondées sur un terrain solide recouvert d'une couche d'alluvions de plus de 10 mètres d'épaisseur; l'affluence considérable de l'eau rendait presque impossible l'épuisement. Chacun des bassins a été établi dans un caisson métallique de 144 × 41 × 19 mètres.

La chambre de travail était partagée par des cloisons en dix-huit cellules; le travail a pu être ainsi scindé en plusieurs parties; mais il fallait des précautions minutieuses pour obtenir un enfoncement partout égal, car autrement les fers se trouvaient soumis à des déformations dangereuses.

Saïgon. — Le bassin de Saïgon a comme dimensions :

Longueur entre le bateau porte et le fond . . .	161 mètres
Largeur au plafond.	19,08 *m*
— couronnement	26,88 »
Profondeur, du seuil au couronnement.	9,50 »

La fondation repose à la cote — 11 mètres.

L'ensemble a été construit dans deux caissons de 83 mètres de longueur, séparés par un intervalle de 1,50 *m*, rempli à la fin de maçonnerie étanche. Leur largeur est de 30 mètres. C'est également sur un caisson (20 × 12 mètres) qu'a été établi le bâtiment des machines et sur un autre (8 × 4 mètres) qu'est fondé le mur en retour formant tête du bassin de l'autre côté.

Les caissons montés dans des enceintes isolées, puis mis à flot et conduits en place, on a exécuté les maçonneries sur leur plafond et leurs bords, par tranches successives toujours élevées au-dessus du niveau de flottaison.

De cette façon les tôles du caisson ne sont jamais soumises à la pression latérale: elles ne servent en réalité qu'à préserver les maçonneries du contact de l'eau.

Bassins de radoub de Gênes. — Deux nouveaux bassins de radoub ont été construits dans l'avant-port de Gênes, à l'abri du môle Giano. Ils offrent respectivement 180 et 220 mètres de longueur, 25,30 *m* et 18,50 *m* de largeur. Ils ont été fondés sur un sol calcaire poreux fortement attaqué par les eaux, de sorte qu'il a fallu établir un radier général en béton sur le terrain d'abord nivelé et excavé à la profondeur voulue.

L'épaisseur des bancs à dérocter et leur grande profondeur sous l'eau imposaient les procédés pneumatiques ; mais les entrepreneurs n'ont pas cru devoir adopter le système des grands caissons de Missiessy, de Saïgon, dont la carcasse reste au milieu de la maçonnerie et voici les raisons sur lesquelles ils se basaient.

L'étanchéité est de rigueur pour un bassin de radoub ; or, les fers noyés dans la maçonnerie rompent les conditions d'homogénéité ; l'oxydation et la destruction du métal doivent produire des infiltrations.

D'autre part il est difficile de répartir sur un grand caisson flottant les charges croissantes de maçonnerie d'une manière assez uniforme pour éviter toute déformation. Aux premiers bassins de Missiessy ces difficultés ont été très grandes. On conçoit en effet que le caisson, surchargé sous les bajoyers, tend à s'infléchir ; et pour l'empêcher il faut donner aux fers des dimensions considérables. Malgré tout, ces fers étant par suite des différences de charge sollicités les uns à la compression, les autres à la traction, subissent des raccourcissements et

des allongements auxquels la maçonnerie ne s'associe pas, d'où résulte une séparation entre les deux éléments de la construction.

On a encore à redouter les charges dissymétriques, les variations de la température, l'agitation des eaux, etc.

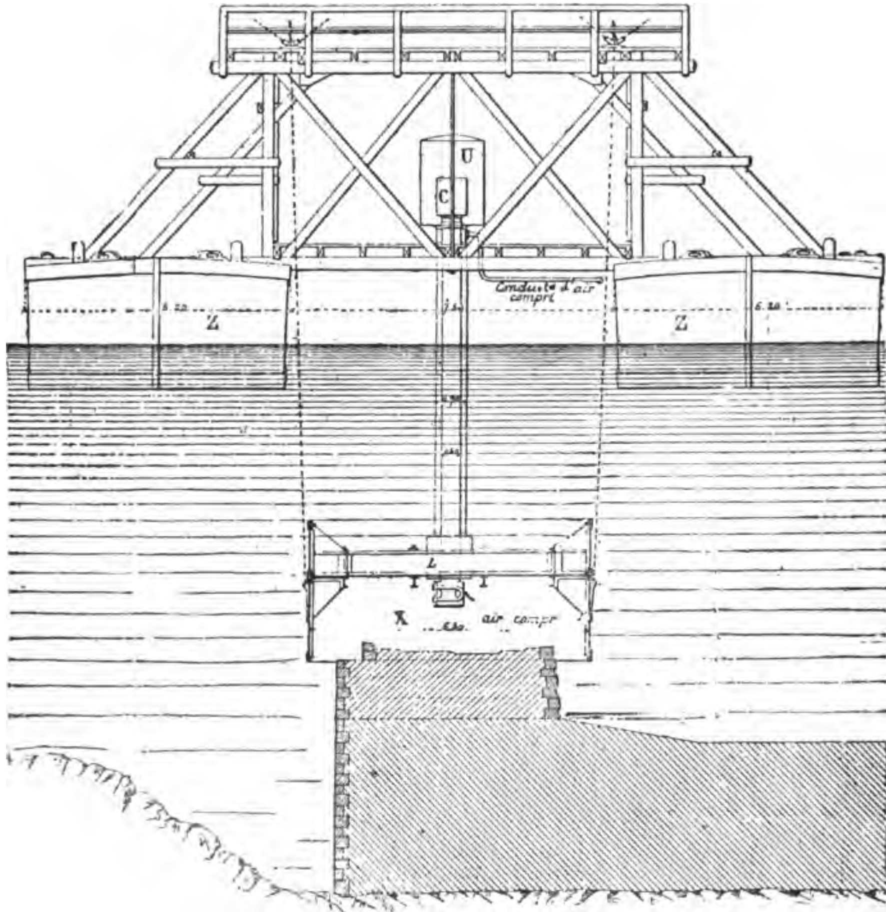


Fig. 46. — Gênes. — Coupe du caisson mobile pour les bajoyers.

L'emploi du béton armé, qui s'est tant répandu durant ces dernières années, même pour des murs de réservoirs, montre qu'une partie au moins de ces inquiétudes est excessive ; mais le procédé suivi à Gênes n'en est pas moins intéressant et a obtenu un plein succès.

On a déjà vu le système employé pour les mines.

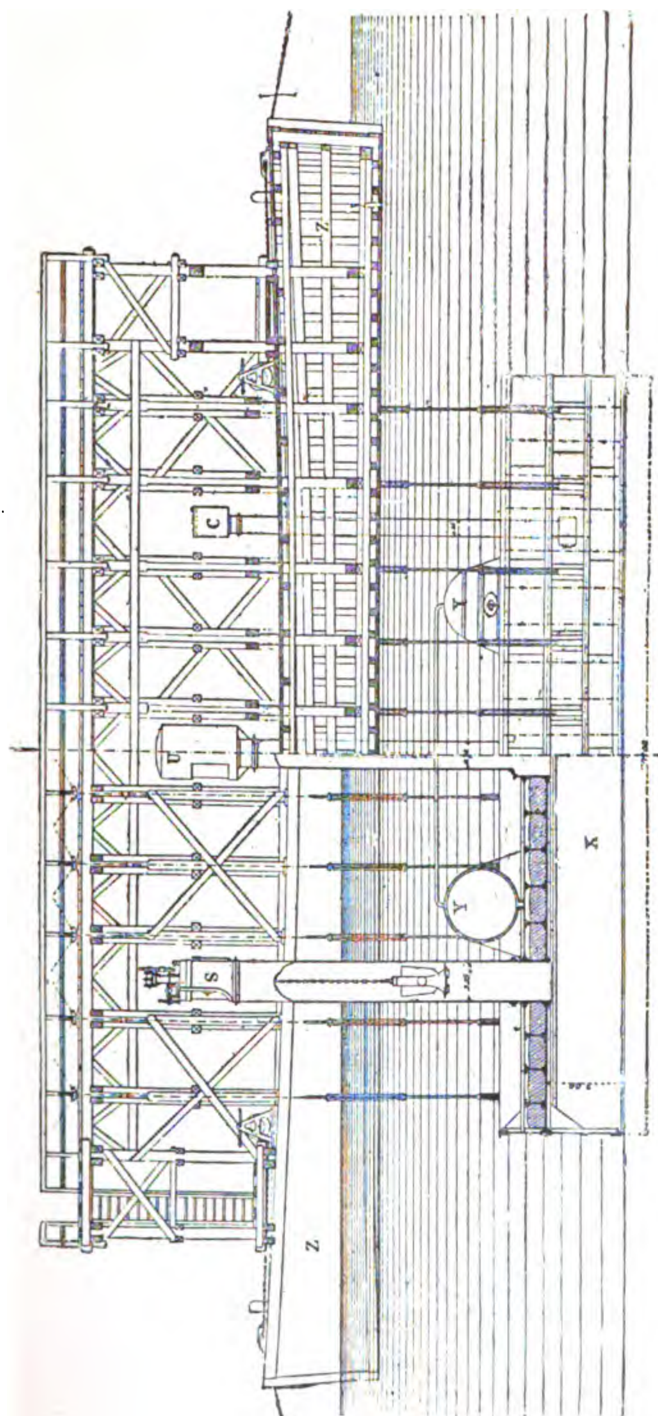


Fig. 47. — Elévation du caisson mobile pour le radier.

Bajoyers (fig. 46). — Ils ont été construits dans deux caissons ayant 20 × 6,50 *m* lestés et suspendus comme celui qui a servi aux mines. L'écluse à matériaux de la figure 22 y était appliquée Les grosses pierres de taille, qui ne pouvaient y passer étaient descendues par une grue à leur place après déplacement du caisson ; celui-ci en se remettant en position les y retrouvait.

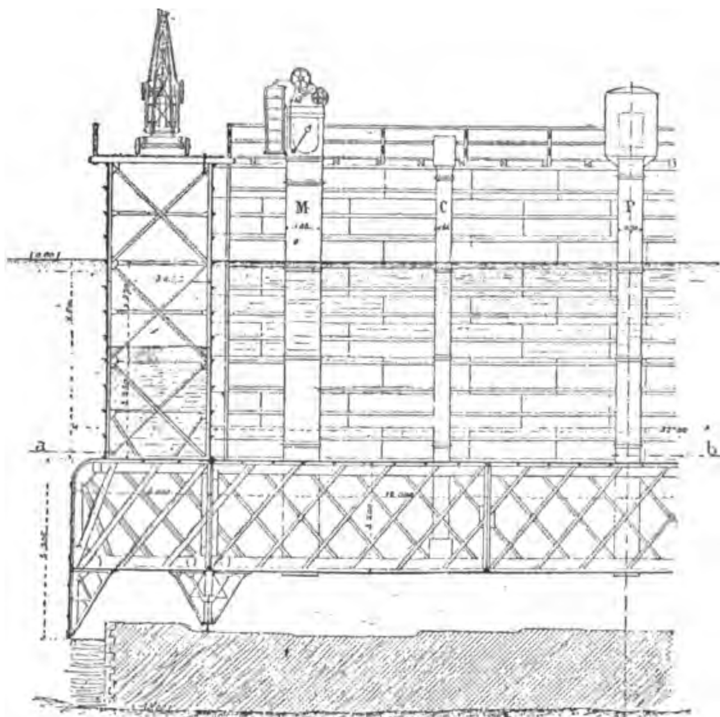


Fig. 48. — Gênes. — Coupe transversale du caisson mobile pour le radier.

Radier. — L'extraction des déblais et la construction du radier, dont la largeur était de 36 mètres, s'opéraient dans un caisson de 38 × 32 mètres posé transversalement. On pouvait donc établir la couche de béton sur toute la largeur de 36 mètres, mais seulement sur une portion (30 mètres environ) de la longueur. Il a fallu déplacer à plusieurs reprises le caisson pour construire successivement les diverses portions de 30 mètres (fig. 47 et 48).

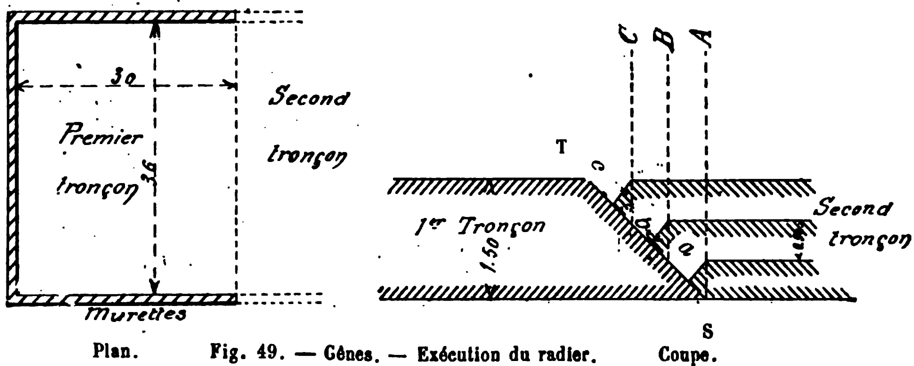
Voici comment l'on opérait.

On commençait par une extrémité. Le rectangle du radier était délimité par des murettes sur trois côtés ; le côté où devait se construire le tronçon suivant restait libre. On commençait par établir une couche

de béton de 50 *cm* d'épaisseur, les murettes étant maintenues à la même hauteur ; le caisson étant relevé de cette quantité, on exhaussait d'abord les murettes, puis le massif de béton de 50 *cm* encore et une troisième couche portait à 1,50 *m* l'épaisseur du radier.

Les relèvements successifs du caisson avaient pour but de ne pas diminuer la hauteur nécessaire aux ouvriers dans la chambre de travail.

On voit que le massif s'élevait verticalement sur trois faces, mais sur la quatrième (sens du prolongement) le béton se répandait selon son talus naturel (fig. 49).



Plan. Fig. 49. — Gênes. — Exécution du radier. Coupe.

A ce moment, on déplace le caisson de façon que le tranchant vienne toucher le talus du premier massif (position A). Une première couche de 50 *cm* s'écoule en *a* sur le talus naturel. Le caisson prend alors la position B qui permet de poser une seconde couche et ainsi de suite. La troisième laisse un vide *c* qu'il est facile de combler en poussant le béton avec un râteau. La jonction des diverses portions de la longueur est ainsi assurée.

Sur cette première assise de 1,50 *m* on en coule une seconde égale, dans les mêmes conditions, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'épaisseur totale soit atteinte.

Construction du caisson. — La chambre de travail avait 2 mètres de hauteur, celle d'équilibre 3,20 *m*. Le plafond de la dernière était surmonté de quatre réservoirs communiquant ensemble ; deux de 3,50 *m* de large s'étendaient sur toute la longueur, les autres de 3 mètres, rectangulaires avec les premiers étaient symétriquement placés. La hauteur commune était de 8,60 *m*. Ces réservoirs communiquaient avec la mer et servaient de chambres de compensation. Ils portaient les ponts de service.

Pendant le coulage du béton, le caisson reposait sur deux vérins appuyés, par l'intermédiaire de plaques de fonte, d'abord sur le sol, puis sur les couches de béton.

Troisième bassin de Missiessy. — On a récemment terminé à Toulon un troisième bassin ayant comme dimensions :

Longueur		175 *m*
Largeur	à la base	25 *m*
	au couronnement	28,84 *m*
Hauteur d'eau sur le seuil		9,35 *m*.

Ce bassin étant le dernier construit en France, il est intéressant de voir qu'on y a donné la préférence au système du caisson unique. Il est juste d'ajouter que la longueur avait été prévue à 150 mètres au lieu de 175 et que les 25 mètres complémentaires, ajoutés après coup, ont été construits dans un second petit caisson.

L'emplacement de la forme a été dragué à la cote — 15 mètres, puis l'on y a amené le caisson, monté dans un petit bassin creusé spécialement à la cote — 2,20 *m* à l'ouest de l'ouvrage. Le caisson a 160,80 *m* de longueur sur 41 mètres de largeur ; les pans du côté de l'hémicycle sont coupés. La longueur est partagée par des poutres transversales en vingt chambres complètement indépendantes, munies chacune de trois cheminées à sas, une centrale pour les ouvriers et deux latérales pour les matériaux (fig. 50).

Au milieu sur une longueur de 13,67 *m*, la hauteur de ces poutres est de 4,43 *m* ; elle augmente de chaque côté et atteint 6,70 à l'extrémité.

Les poutres transversales sont reliées par quatre poutres longitudinales placées au-dessus du plafond de la chambre de travail et dont les hauteurs sont telles (2,56 et 4,90 *m*) que leurs semelles supérieures affleurent celles des transversales. Deux d'entre elles sont à 1,05 *m* de la tôle de rive du caisson, les autres en sont distantes de 12,62 *m*.

Les poutrelles du plafond de la chambre de travail sont posées longitudinalement entre ces cours de poutres ; elles ont 95 *cm* de hauteur et sont espacées de 1,05 *m*.

Les tôles de ceinture ou hausses ont, avant le lancement, été posées jusqu'à la hauteur de 7 mètres au-dessus des couteaux. L'épaisseur des tôles employées était : 7 millimètres pour la séparation des chambres de travail ; 5 millimètres au plafond ; de 6 à 4 millimètres de la base au

sommet pour les hausses. Les angles des caissons du côté de l'écluse d'entrée sont étrésillonnés avec soin pour résister aux pressions extérieures.

Une fois le caisson en place, on le leste pour le faire immerger. A mesure de l'enfoncement on monte les hausses latérales, de façon que le bord supérieur dépasse toujours d'un mètre au moins la surface de l'eau. Ces hausses s'appuient sur des consoles rivées à l'extrémité des poutres transversales et sont soutenues dans les intervalles par un croisillonnement en fer de 6 millimètres d'épaisseur. Il a fallu dix rangées de tôles de hausses.

La hauteur de la chambre de travail est de 1,90 *m*. Le poids total est de 1924000 kilogrammes pour 6500 mètres carrés, soit environ

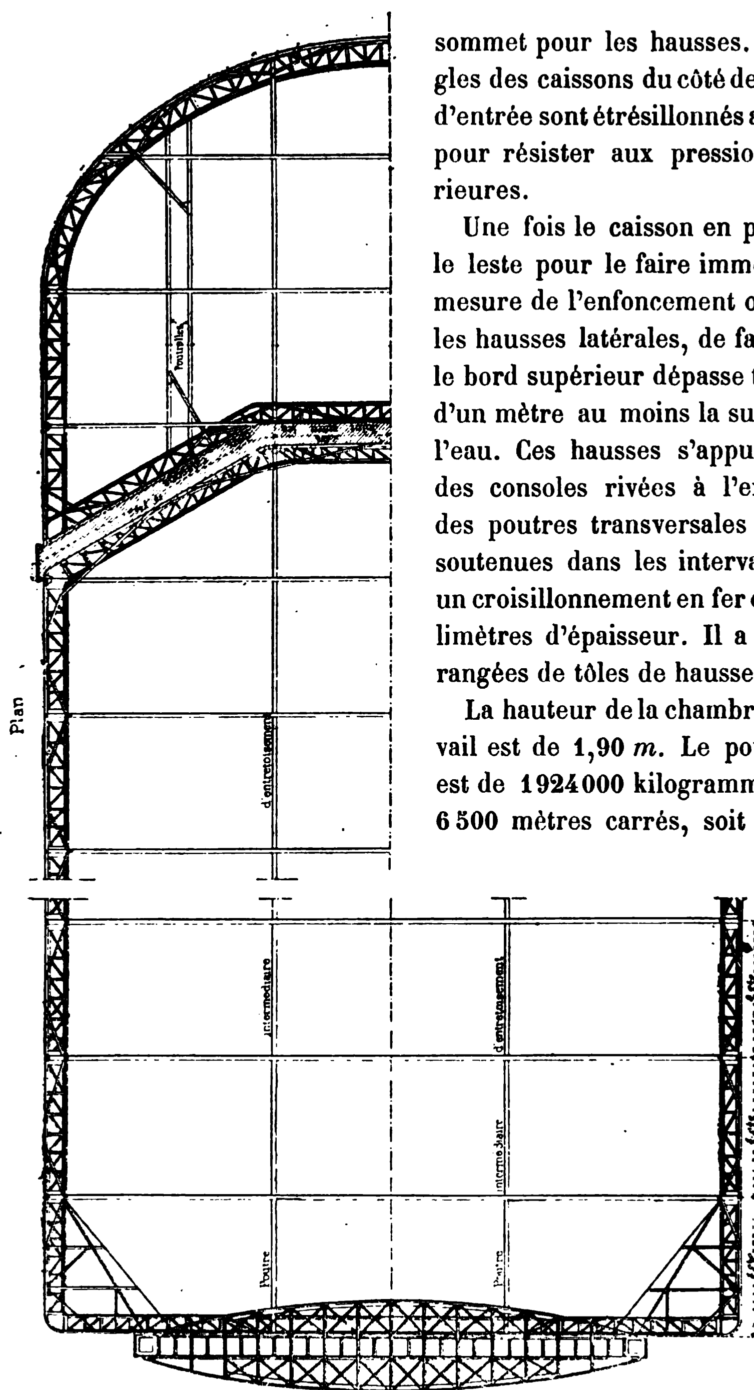
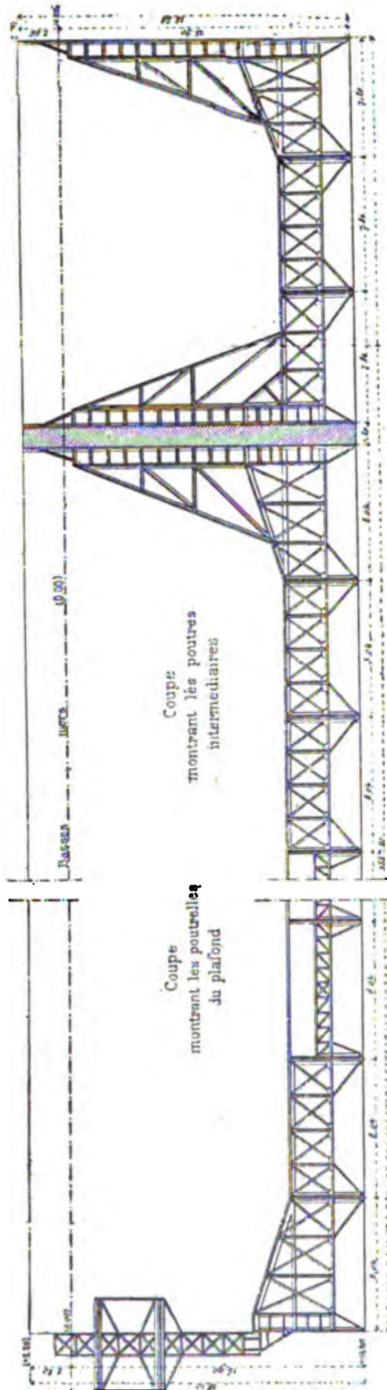


Fig. 50. — Troisième bassin de Missiessy. — Plan du caisson.
Plan général.

300 kilogrammes par mètre carré. Les caissons des anciens bassins de Missiessy pesaient 2200000 kilogrammes pour 5900 mètres carrés, soit 370 kilogrammes par mètre. L'économie de poids résultant de l'expérience est donc de près de 20 %.

Pendant le montage des hausses, un batardeau était édifié pour isoler de la mer la portion où devait se construire l'écluse d'entrée, puisque ce côté ne peut être fermé par une maçonnerie. Ce batardeau,



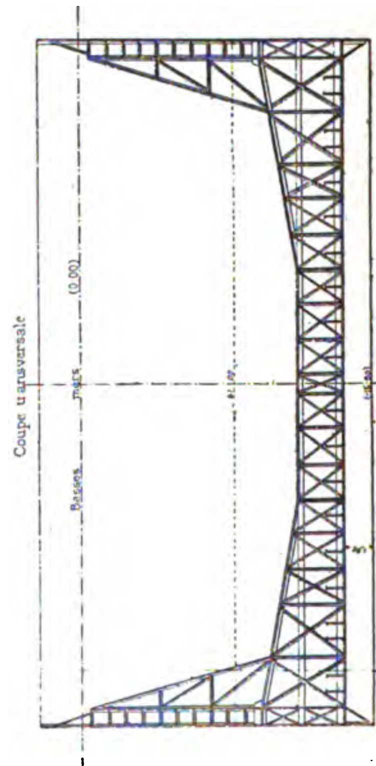


Fig. 51. — Troisième bassin de Missiessy.

espèce de bateau-porte en tôle étrésillonnée, est boulonné au caisson, avec intermédiaire d'un joint composé d'une fourrure de peuplier munie sur chaque face de deux torons goudronnés et suiffés, recouverts d'un enduit composé de 1 litre de coaltar, 1/2 kilogramme de ciment rapide et 100 grammes de suif. Pour diminuer la pression sur les rivures, on remplit le batardeau à moitié d'eau qu'on vide en fin de travail, afin de permettre aux ouvriers de le déboulonner.

Le point délicat de ces travaux c'est l'exécution des maçonneries, qui doit être conduite de façon à assurer un enfoncement régulier. Voici dans quel ordre elle est effectuée.

1° Un enduit général au mortier de ciment du Teil, à 500 kilogrammes par mètre cube, de 2 *cm* d'épaisseur.

2° Une couche de 95 *cm* d'épaisseur de béton (2 de mortier à 600 grammes et 3 de pierrailles). On noie ainsi dans ce massif les poutrelles du plafond et l'on assure la rigidité du caisson ; ce travail est fait par petites portions et est dirigé suivant les mouvements que laisse apercevoir l'ensemble.

3° On exécute enfin les maçonneries, toujours en en proportionnant l'avancement aux dénivellations accusées par le caisson. Le long des parois on soutient les tôles de hausse par un mur évidé afin de modérer la charge sur les bords ; il est exécuté au moyen de contreforts entre lesquels les maçonneries sont arrondies en voûtes. Le milieu du caisson est également surchargé ; quand le radier a atteint son épaisseur, on le recouvre d'un lest de moellons pour maintenir l'égalité d'enfoncement. Cette épaisseur a été de 4 mètres au-dessus du plafond, sans compter un dallage au ciment. Elle est considérable, mais a été portée à ce chiffre à raison des considérations précédentes ; dans ce but aussi on a disposé latéralement les rigoles d'épuisement.

Au moment d'atteindre sa cote définitive (— 15,90 *m*), le caisson a eu beaucoup de peine à descendre, ayant rencontré une couche d'argile molle. Cette argile, se comprimant sous les couteaux, empêchait l'eau de s'échapper et il a fallu faire percer par des plongeurs des trous dans la tôle latérale. Un pareil inconvénient pourrait être évité en laissant d'avance au haut des parois un petit trou par où l'eau s'échapperait.

Le caisson arrivé à sa place, on envoie l'air comprimé dans trois chambres afin de ne pas développer une sous-pression trop considérable, on nettoie le sol et l'on bétonne.

Accroissement de la largeur. — En cours d'exécution on a dû allonger la forme de 25 mètres; le travail a été exécuté dans un second caisson plus court, mais de construction identique au premier. Entre les deux est resté un espace de 1,25 *m* dans lequel a été exécuté le joint entre les deux parties terminées.

Dans ce but l'espace a été fermé de chaque côté par un panneau s'appuyant contre les tôles de hausse par l'intermédiaire de bourrelets en toile remplis de mousse. Le fond ayant été nettoyé, le béton y a été coulé par des bennes à clapet, en couches de 50 *cm* régalées et appuyées avec soin contre les tôles au scaphandre. L'épaisseur du béton était de 3,50 *m* au milieu et a atteint 6,80 *m* sur les bords, par plusieurs redans.

L'espace du joint fut alors épuisé, tandis que les panneaux étaient serrés contre les bourrelets par des palans; quand le niveau de l'eau a été assez abaissé, la pression extérieure a suffi pour maintenir le serrage et par suite l'étanchéité.

L'eau provenant des fuites était enlevée au moyen de pulsomètres à air comprimé; puis on a élevé la maçonnerie des bajoyers sur une épaisseur de 1,50 *m*. Un fort coulis de ciment du Teil injecté sous pression a aveuglé les fuites le long du panneau; enfin les tôles des abouts ont été coupées, les maçonneries élevées derrière enlevées et celles du fond ont été achevées à sec.

Calculs pendant le lestage. — Durant la construction des maçonneries il faut procéder à de fréquents nivellements (fig. 52 et 53)

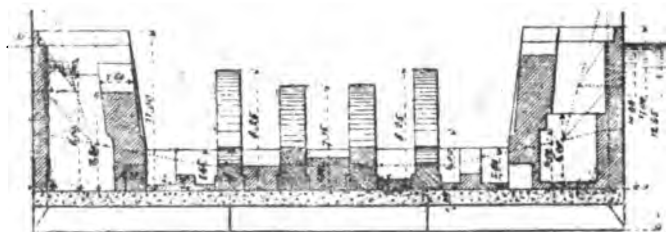


Fig. 52. — Demi-travée soumise au calcul.

qui révèlent les déformations éprouvées par les poutres sous les charges qu'elles supportent. On compare aussi par le calcul ces flexions avec les profils des maçonneries, pour les équilibrer et éviter les efforts exagérés.

Ces calculs se font par tranches de 8,04 *m* entre deux poutres, en considérant toutes les charges qui agissent dans cette longueur. En

voici un exemple appliqué à la demi-travée représentée en plan et en

Fig. 53. — Demi-travée soumise au calcul.

Fig. 54.

Fig. 55

coupe par les figures 54 et 55. Il faut se rappeler que la largeur du caisson est de 41 mètres ; soit 20,50 *m* pour la moitié.

Nature des charges	Poids	Bras de levier	Moments
	kg	m	
Maçonnerie uniformément répartie sur la pontre	1125659	10, 25	11538005
Bajoyer	162635	19, 68	3200657
Grand contrefort.	133638	17, 56	2347561
Contreforts intermédiaires	207391	18, 63	3867694
Voûte	56243	15, 00	843645
Maçonnerie entre la voûte et le massif central	143529	12, 45	1786936
Massif central	179184	5, 25	940716
Lest	179714	3, 60	646970
Poids des bois, fers, etc., supposés uniformément répartis.	66424	10, 25	680846
Totaux	2274467		25753030

Le poids est égal à celui de l'eau de mer dans lequel plonge le caisson et qui est

$$20,50 \times 8,04 \times 1\,026 \times x$$

D'où l'enfoncement $x = 13,45\ m$. On le vérifie directement.

Le caisson est en équilibre sous l'action des forces précédentes d'une part, et d'autre part sous celles de la sous-pression et des poussées latérales.

La sous-pression est de 2 274 467. Comme elle est uniformément répartie, son bras de levier est de 10,25 et son moment, de signe contraire au précédent, est

$$2\,274\,467 \times 10,25 = 23\,313\,287$$

La pression latérale $\left(\frac{H^2 l d}{2}\right)$ est

$$\frac{\overline{13,45}^2 \times 8,04 \times 1026}{2} = 746\,136\ kg.$$

Son point d'application est au tiers de la hauteur, augmenté de celle de la chambre de travail, soit

$$\frac{13,45}{3} + 1,80 = 6,28\ m.$$

Il reste toujours au-dessus de la fibre neutre de la poutre hétérogène formée de fer et de maçonnerie dont les sections sont représentées par les figures.

On admet le coefficient d'élasticité du fer égal à vingt fois celui de la maçonnerie. Alors la position de la fibre neutre de l'ensemble est donnée par la formule

$$\frac{s l + 20\, s' l'}{s + 20\, s'}$$

dans laquelle :

s représente la surface de la section de la maçonnerie,

s' — — du fer,

l et l' la hauteur des centres de gravité de la maçonnerie et du fer au-dessus des couteaux.

Cette formule dans le cas de la figure 55 devient :

$$\frac{6,64 \times 3,45 \left(\frac{3,45}{2} + 1,80\right) + 20 \times 0,054593 \times 1,95}{6,64 \times 3,45 + 20 \times 0,054593} = 3,45$$

La différence 6,28 — 3,45 = 2,83 est le bras de levier de la poussée latérale sur la section médiane de la poutre hétérogène.

Le produit 746 136 × 2,83 = 2 111 564 est le moment de la poussée; il est du même signe que celui du moment de la sous-pression. La somme des deux 23 313 287 + 2 111 564 = 25 424 851 qui, retranchée de la somme des moments des charges supérieures 25 753 030, donne une différence de 328 179.

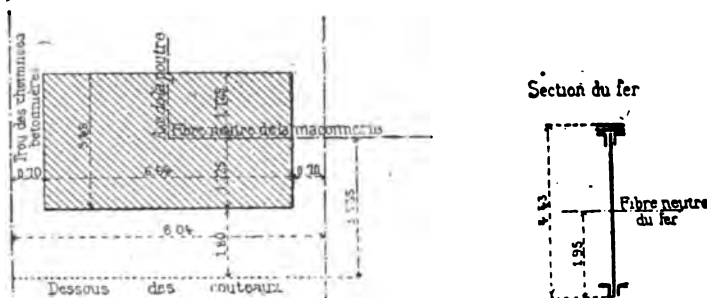


Fig. 56.

La figure 56 indique la position de la fibre neutre de l'ensemble du fer et de la maçonnerie. Des éléments de cette figure on déduit les moments d'inertie des surfaces de maçonnerie et de métal par rapport à la fibre neutre. Pour le fer, le moment se calcule d'après celui par rapport au couteau, calculé en principe.

Les données sont :

Section du fer	S	= 0,054593
» de la maçonnerie	S'	= 23,908000
» de la poutre hétérogène . . .	S'+20S	= 23,999860
Moment d'inertie du fer.	I	= 0,307716
» de la maçonnerie . .	I'	= 22,8370
» de la poutre. . . .	I'+20I	= 28,9913

On en conclut le tableau suivant des efforts dans les diverses parties de la section considérée :

Fer

Travail dû au moment fléchissant :

Fibres supér. Traction $R = \frac{PLn}{I} = \frac{328\,179 \times 20 \times 0{,}98}{28\,991\,300} = 0{,}221$ *kg*

Fibres inférieures. Compression $= \frac{328\,179 \times 20 \times 3{,}45}{28\,991\,300} = 0{,}781$

Compres. générale $\frac{\text{Poussée latérale} \times 20}{s' + 20\,S} = \frac{746\,136 \times 20}{233\,991\,300} = 0{,}621$

Travail total. :

Fibres supérieures. Compression. . 0,621 — 0,221 = 0,400

Fibres inférieures. Compression . . 0,621 + 0,781 = 1,402

Maçonnerie

Travail dû au moment fléchissant	Fibres supérieures. Traction	$\frac{328\,179 \times 1{,}80}{289.913} = 2{,}03$
	Fibres inférieures. Compression. .	$\frac{328179 \times 1{,}65}{289\,913} = 1{,}86$
	Compression générale	$\frac{746\,136}{239\,998} = 3{,}10$
Travail total	Fibres supérieures. Compression . .	$3{,}10 - 2{,}03 = 1{,}07$
	Fibres inférieures. Compression. . .	$3{,}10 + 1{,}86 = 4{,}96$

Ce calcul s'opère toutes les semaines, d'après le profil des maçonneries auquel on est conduit par les nivellements, pour égaliser le lestage. Il n'y a d'hypothèses que celles faites sur les coefficients d'élasticité du métal et de la maçonnerie, mais elles paraissent justifiées par l'expérience de Missiessy [1].

Prolongation de la forme de Livourne. — La forme de radoub de Livourne qui date de **1869**, trop courte avec ses **114** mètres, a été en **1889** allongée de **30** mètres. Il fallut changer la situation des pompes d'épuisement, placées à l'extrémité de l'hémicycle et qu'on dut mettre sur le côté, puis enlever l'hémicycle lui-même, avant d'effectuer la prolongation.

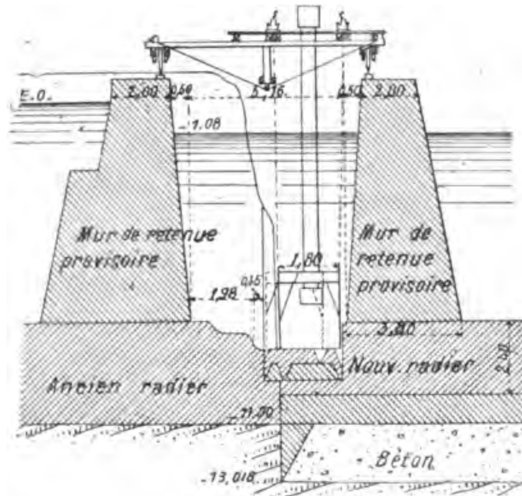


Fig. 57. — Prolongation de la forme de Livourne.

Il était impossible de travailler à l'abri d'un batardeau comme à l'époque de la construction, car la darse agrandie était trop voisine ; on dut recourir à l'emploi de l'air comprimé.

(1) M. Guiffart.

La construction du nouveau puits des pompes se fit dans un caisson de 13×9,50 *m* dont le plafond était formé de petites voûtes de briques reposant sur les poutres. On évitait ainsi l'interposition de tôles dans la maçonnerie. Il en a été de même au grand caisson où a été construit le prolongement du bassin.

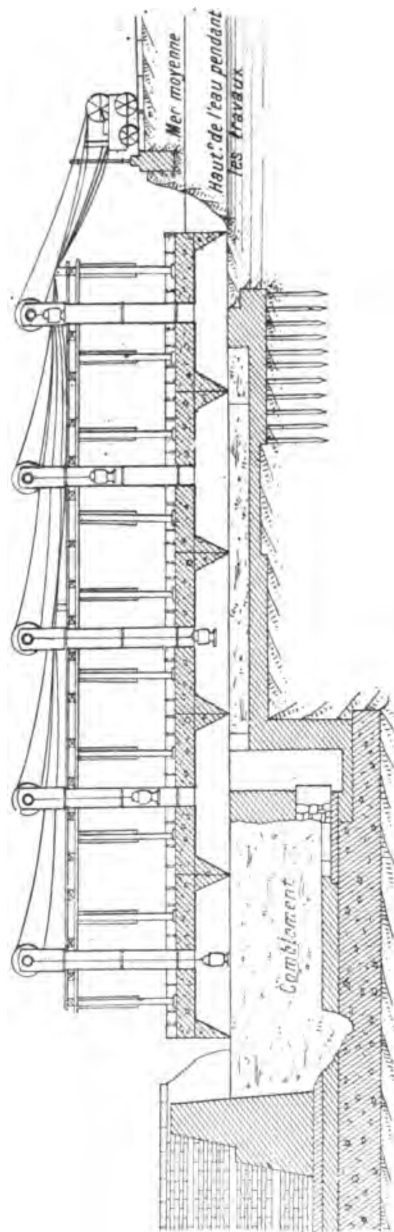


Fig 58. — Prolongation de la forme de Livourne.

Pour celui-ci, on commença par établir un mur provisoire barrant la forme selon la corde de l'hémicycle. La partie conservée pouvait donc servir aux petits bateaux, tandis qu'on démolissait à sec les maçonneries de l'hémicycle jusqu'à la profondeur où l'afflux d'eau devenait gênant (cote — 2 mètres).

Toute cette partie excavée fut ensuite remplie de terre et dressée ; sur cette aire fut monté le caisson (fig. 57 et 58) qui avait la forme et les dimensions de la portion à construire : 45,16×30,80 *m*.

La chambre de travail était partagée en cinq compartiments par quatre grandes poutres transversales à claire-voie, de section triangulaire, dont la base touchait le sol ; on répartissait ainsi au mieux les pressions et la longueur des poutres longitudinales était limitée à 9 mètres.

Des portes établissaient la communication entre les cinq divisions qui avaient chacune une écluse pour le personnel et une pour les matériaux.

Les démolitions furent achevées dans le caisson ; en même temps on

exécutait au-dessus du plafond le radier, les bajoyers et un second mur transversal à 5 mètres du premier.

En définitive, il n'y avait plus qu'à raccorder les anciennes maçonneries avec les nouvelles ; ce raccordement fut exécuté dans un caisson de 7,50×1,80 *m* suspendu par six vérins à un chariot roulant sur des rails supérieurs.

La compression de l'air était effectuée au moyen de six compresseurs actionnés par une force totale de 135 chevaux. Les bennes à matériaux exigeaient 68 chevaux et l'éclairage électrique autant.

RÉPARATIONS

A la nouvelle écluse d'Ijmuiden, le béton ayant été délavé par les eaux qui sourdaient au travers des trous de sonde, les parties dégradées furent refaites à l'aide de l'air comprimé, en travaillant dans des chambres étanches en béton (fig. 59 et 60).



Fig. 59. — Réparations de l'écluse d'Ijmuiden. — Vue générale.

Ces chambres étaient au nombre de deux ; l'une était fermée par une coupole surbaissée au quart de 9 mètres de diamètre et 1,40 *m* d'épaisseur, l'autre était rectangulaire (9×5,50 *m*). Au sommet on avait disposé un sas.

L'air comprimé a permis aux ouvriers de diriger à l'extérieur les

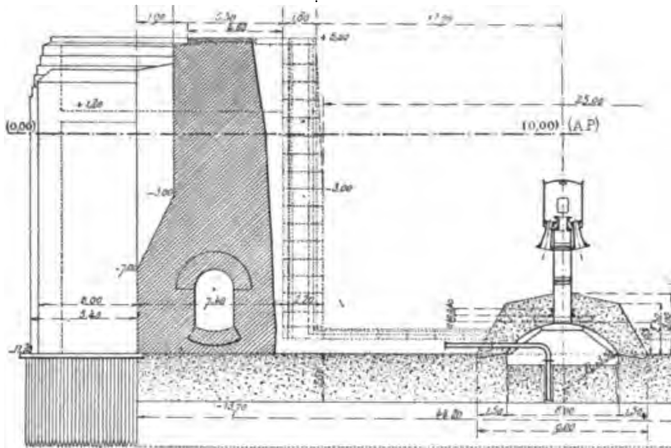


Fig. 60. — Réparations de l'écluse d'Ijmuiden. — Coupe de l'ensemble.

eaux des sources par un tuyau de 20 *cm* de diamètre et de refaire les portions endommagées.

CHAPITRE XXV

UTILISATION DES PORTS

Jusqu'au milieu du dix-neuvième siècle, les ports avaient presque tous le même rôle à remplir. Les voiliers se chargeaient de marchandises diverses, arrimées pêle-mêle dans la cale et débarquées de même. Les premiers, les centres miniers reconnurent la nécessité d'installations appropriées, dont les meilleurs modèles se rencontrent en Angleterre et qui sont d'ailleurs les plus aisées à établir.

L'application de la vapeur à la marine, la pénétration des chemins de fer dans les ports ont amené une complète révolution. L'abri s'est transformé en gare, ne différant de l'établissement terrestre au point de vue de l'utilisation que par la substitution du navire au wagon.

La concurrence, qui a amené l'abaissement des prix, a eu pour résultat la production intensive et comme répercussion la rapidité des transports et par conséquent l'accroissement des dimensions des navires.

Ces grands bâtiments, dont les manutentions exigent une célérité correspondante, sont les uns spécialisés (charbonniers, navires à minerais, citernes pour le pétrole, etc.) ; les autres au contraire prennent des marchandises variées.

Ce n'est pas tout : il s'est créé des lignes régulières, tant pour les marchandises que pour les passagers, et les vapeurs qui les desservent ont des besoins bien distincts de ceux des bâtiments ordinaires. Enfin la différence entre les marchandises d'entrepôt ou de transit, d'autres conditions encore font de l'appropriation des ports un problème dont la solution est souvent fort difficile.

Clientèle. — Avant de tenter la création ou l'amélioration d'un port, il faut se rendre compte du développement dont il est susceptible et qui ne dépend pas seulement des ressources du pays. Tel port, bien situé ou desservi par de nombreuses voies ferrées ou des canaux, reçoit

des marchandises pour des contrées très éloignées ; c'est le rôle d'Anvers, de Hambourg, de Rotterdam à l'égard de l'Europe centrale.

Il faut encore apprécier la clientèle des bâtiments qui fréquenteront la localité. Durant ces dernières années, la navigation à voiles a considérablement diminué ; mais il serait imprudent de penser que ce mouvement ne fera que s'accentuer. Le contraire est plus probable.

A l'heure actuelle, le voyage maritime a pour terminus, dans l'immense majorité des cas, un point de l'Europe et surtout des pays du Nord, où les vapeurs trouvent à bon marché le charbon nécessaire ; ils s'y sont multipliés.

Mais dans la Méditerranée le commerce par les voiliers est, même aujourd'hui, un facteur important ; il le sera plus encore dans les relations futures entre les pays nouveaux où le charbon est rare et où les marchandises lourdes ne pourront supporter les frais considérables des vapeurs alimentés de seconde main.

La connaissance de plus en plus approfondie des courants, des vents locaux, dont l'étude a été commencée par Maury, l'adjonction d'une machine auxiliaire permettront aux voiliers d'effectuer des voyages rapides et de diminuer leur infériorité. Ces considérations doivent être tenues en compte dans le projet d'un établissement maritime.

Influence de la marée. — L'utilisation commerciale d'un port dépend en grande partie de la marée. Dans les mers qui n'en n'ont pas, la surface d'eau abritée peut être simplement pourvue de quais, si elle n'est pas trop considérable. Dans le cas contraire, on la partage en bassins plus petits, par des ouvrages intérieurs.

Le vieux port de Marseille, par exemple, dont la largeur moyenne n'est que de 320 mètres, n'a pu qu'être bordé de quais sur son périmètre. Il n'en est pas de même de la baie de Gênes dont la superficie est considérable. Pour en tirer le meilleur parti, elle a été morcelée par des traverses d'accostage, qui n'en occupent d'ailleurs qu'une minime portion. Le reste sert bien de rade, même l'on y exécute des opérations au moyen d'allèges, mais si cette vaste surface est utile au point de vue de la facilité d'entrée et de la tranquillité, elle n'a relativement qu'un faible rendement commercial, bien qu'ayant coûté des sommes considérables à protéger.

Aux Etats-Unis, où la marée ne dépasse guère un mètre, les ports sont en général des bassins intérieurs. Les manutentions s'opèrent le

long d'estacades presque toujours en charpente appelées *piers*. A New-York, leur longueur ordinaire est de 150 mètres ; cependant celui de l'*American Line* qui mesurait 220 mètres est encore en voie d'allongement. Chaque Compagnie en possède en propre au moins un. Les navires accostent des deux côtés ; par suite entre les piers consécutifs, on laisse la place pour deux bâtiments.

Quand le mouvement commercial est peu important, un simple appontement est suffisant. Selon la profondeur de la baie, on lui donne une longueur appropriée (Dellys, fig. 61).

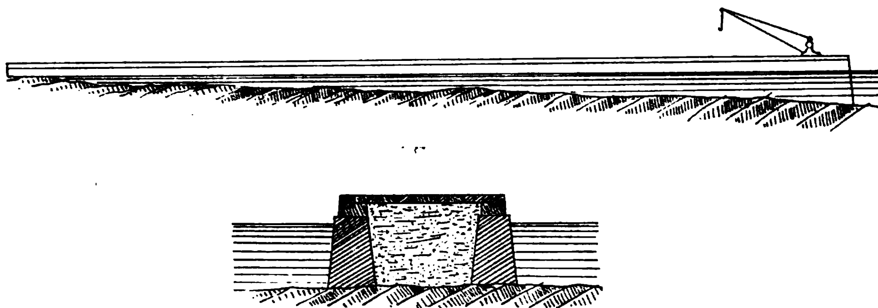


Fig. 61. — Débarcadère de Dellys.

Si l'amplitude de la marée est considérable au contraire, la mer à l'étale de jusant se retire loin du rivage et l'accostage direct est impossible, au moins pour les vapeurs qui souffriraient beaucoup de l'échouage. De plus, le niveau du navire changeant à chaque instant, la manutention est rendue difficile. On a remédié à cet inconvénient par la création des *bassins à flot*.

Quand la marée est moyenne, la solution n'est pas absolue. En thèse générale, il est évident que l'invariabilité du niveau du navire est une condition très avantageuse ; mais le bassin à flot est coûteux, il exige une manœuvre assez longue, n'est ouvert que durant quelques heures et occasionne en conséquence une notable perte de temps. Il est parfois malaisé à établir. Dans ces conditions, on préfère souvent subir l'inconvénient de la marée.

Situation. — La situation d'un port sur une rivière, le plus en amont possible, était jadis regardée comme un grand avantage. Il en est toujours ainsi au point de vue de la plupart des marchandises portées par les navires ordinaires, vapeurs ou voiliers. Le frêt n'est pas plus cher pour Anvers que pour Flessingue, par exemple ; mais la dis-

tance qui sépare le premier port des centres de consommation est moins grande et la dépense du transport de rayonnement par chemins de fer est réduite ; de plus, les villes de l'intérieur sont souvent le point de jonction de canaux dont le rôle de répartition est considérable.

Pour les passagers, au contraire, la différence de vitesse entre le train et le navire constitue un élément important ; ils se résolvent difficilement à attendre la remontée d'un fleuve et même entre deux points d'atterrissement sur la mer ils préfèrent celui qui économise quelques heures de traversée. Dans ces conditions, les ports en pleine côte et à l'extrémité des presqu'îles prennent un avantage marqué.

Aussi les lignes de paquebots rapides ont-elles des escales tout au moins, parfois même leur attache, aux points les mieux situés (Cherbourg, Brest). L'*American Line* a abandonné en 1893 Liverpool où elle avait de puissantes relations, pour Southampton, plus accessible alors à toute heure. C'est pour répondre à de pareilles préoccupations que se crée aujourd'hui l'escale de Heyst, sur la côte belge. Dans les ports de la mer du Nord et de la Manche, les vapeurs qui font le service des voyageurs entre pays voisins ne se soumettent pas à l'entrée dans les bassins à flot ; ils opèrent dans l'avant-port, le long de quais où on leur ménage une profondeur suffisante à tout état de marée.

La même solution, creusement à la profondeur nécessaire pour le maintien à flot des bâtiments, a été adoptée au port militaire de Cherbourg afin de faciliter les évolutions de la flotte et au port de commerce de Brest, où l'on espérait l'escale des transatlantiques. Ces bassins deviennent alors de véritables darses, comme dans la Méditerranée.

Il faut noter que les paquebots, dans les escales, n'ont le plus souvent qu'une quantité restreinte de marchandises à prendre ou à laisser.

Emplacement des darses et bassins. — Il est rare qu'un port soit construit de toutes pièces. Saint-Nazaire et La Pallice en sont des exemples en France. En Angleterre, l'exportation des charbons a fait créer près des houillères des bassins florissants, comme ceux de Penarth, de Barry à côté de Cardiff.

Généralement on utilise d'anciens centres, de petits ports qui manifestent une tendance au développement ; l'emplacement des bassins est alors commandé par les circonstances locales. Les Anglais acceptent volontiers que les établissements maritimes soient éloignés des villes

et peuvent en conséquence mieux leur choisir un site convenable. Dans les rivières, on accommode les coudes ou les presqu'îles formées par les boucles, ce qui offre l'immense avantage de deux entrées. C'est ainsi que sont disposés la plupart des bassins de Londres (London, Surrey Commercial, India, Victoria and Albert Docks). Ces deux derniers ont leurs écluses à 8 et 12 kilomètres du pont de Londres, Tilbury dock est encore à 23 kilomètres plus en aval.

A Bristol, Belfast, Aberdeen, on a coupé la boucle d'une rivière pour lui donner un cours rectiligne et l'ancien lit a été utilisé comme bassin.

Autant que possible il faut choisir les terrains peu élevés, afin de diminuer les dépenses de creusement. Cependant sur la Tyne on n'a pas hésité à attaquer une colline et à en transformer l'emplacement en bassin. Une telle solution n'est possible que dans les localités à grand trafic. Au Havre, au contraire, les bassins récemment construits, Eure, Bellot, ont été conquis sur la mer ; il en sera de même des agrandissements projetés. En général, l'empiètement sur la mer n'est à recommander que dans les localités très protégées. Parfois pourtant il est impossible de faire autrement.

Disposition d'ensemble. — Lorsqu'un port est appelé à une extension certaine et qu'on peut construire les bassins le long du rivage, sans être arrêté par les accidents de terrain ou les dépenses d'expropriation, un plan d'ensemble doit guider leur disposition. A Marseille, on a prévu la possibilité de créer, à mesure des besoins, des nouvelles darses à l'ouest des anciennes et c'est ce qui a lieu encore actuellement. Mais une trop longue succession de bassins se commandant ferait perdre aux bâtiments beaucoup de temps pour se rendre à leur place. Les murs de séparation des bassins sont bien interrompus pour permettre la communication, mais les passes sont couvertes de ponts mobiles qu'il faut ouvrir pour le passage des navires. — Dans les ports à marée, on aurait à compter aussi avec les éclusées —. Il ne serait donc pas possible de continuer indéfiniment la construction de bassins juxtaposés à Marseille, et déjà l'on a dû ménager à l'ouest un second avant-port d'entrée.

A Brest et à Trieste, la disposition est différente : les bassins ne sont pas séparés. Derrière la digue de protection a été ménagé un large canal par où les bâtiments se rendent à leur poste d'opération. La

situation de Marseille serait améliorée par la création d'un vaste avant-port qu'abriterait une digue indépendante et où déboucheraient directement les bassins. Ce serait alors à peu près le plan de Liverpool. Cette digue a été projetée, mais l'exécution en a été écartée.

Ajoutons d'ailleurs qu'aujourd'hui il ne faut guère plus d'une demi-heure à un navire pour entrer et s'amarrer dans l'une quelconque des darses.

Au Havre, le projet d'agrandissement futur prévoit un canal de circulation libre pour les divers bassins.

Fleuves-ports. — Les ports situés sur des fleuves ne comportent pas toujours des bassins. Nantes est dans ce cas, et Bordeaux ne possède un bassin à flot que depuis quelques années. Jusque-là les navires mouillaient en pleine rivière. On y déchargeait au moyen d'allèges, car les quais verticaux où les grands navires peuvent accoster sont de construction récente. C'est là un système très économique d'établissement; mais l'exploitation, même le long d'un mur, est rendue difficile par l'existence de la marée, qui change à chaque instant la hauteur relative du navire.

Depuis la construction des quais verticaux de Bordeaux, les débarquements y sont effectués, mais les chargements se font en rivière, non seulement par des chalands, mais aussi par débarcadères.

Dans les parties sujettes aux envasements, ce sont des pontons flottants reliés à la rive par des passerelles. Dans les autres, ce sont des appontements fixes en charpente établis sur pilotis et le long desquels se rangent les navires. Il existe trente-quatre de ces débarcadères.

Quant aux navires accostés aux quais, ils s'y attachent sur des bornes spéciales, et se retiennent au large par des amarres fixées à des corps morts.

Bassin de marée. — Quand l'amplitude de la marée n'est pas très grande, l'inconvénient qui en résulte est moindre. Si le lit du fleuve est alors insuffisant à recevoir les navires qui fréquentent le port et qu'il faille creuser des bassins annexes, on ne les ferme pas et la marée y accomplit son jeu naturel. C'est la solution qui, après mûre réflexion, a été adoptée à Hambourg, avec beaucoup d'avantages (amplitude de 3,20 à 3,50 *m*).

Tous les bassins de marée qu'on y a construits et ceux en projet s'ouvrent sur l'Elbe ; leur entrée regarde l'aval, afin que les alluvions

entraînées par les crues ne s'y déposent pas. Les navires entrent et sortent avec rapidité ; et l'inconvénient de la variation de hauteur est compensée par une extension considérable des moyens mécaniques de manutention.

A Anvers, les bassins sont fermés et même ceux d'Asia, de la Campine et du Kattendijk n'ont qu'une seule entrée. Les navires pressés n'y entrent pas et opèrent le long des quais du fleuve, malgré l'amplitude de la marée (4,60 *m*).

A Lisbonne, les navires ont à leur disposition des quais le long du Tage, des bassins de marée et un bassin à flot (Alcantara).

Bien que l'amplitude de la marée soit de 4 mètres à Southampton et 3,50 *m* à Glasgow, les derniers bassins construits dans ces localités sont ouverts à la marée. A Southampton, fréquenté surtout par des lignes régulières, la profondeur est considérable et l'on a voulu laisser les manœuvres libres à tout instant. Les raisons déterminantes à Glasgow pour établir des bassins de marée, Queen's Dock et Cessnock Dock sur la Clyde, ont été les suivantes :

Laisser la liberté de manœuvre aux navires.

Eviter l'accumulation de bâtiments à l'entrée et à la sortie.

Ne pas créer de foyer d'infection près de la ville.

Déterminer à l'ebbe un courant de sortie capable de nettoyer l'entrée du bassin.

DES BASSINS A FLOT

Superficie. — Dans les anciens ports très fréquentés comme le vieux bassin de Marseille, les navires n'ont pas assez de place pour accoster les quais suivant leur longueur et ils s'amarrent normalement. Il en résulte des difficultés pour la manutention des marchandises, car les grues ne peuvent atteindre les panneaux ; or il importe, au contraire, qu'on puisse charger ou décharger un bâtiment à la fois par toutes ses écoutilles, avec l'aide de plusieurs grues.

Aussi a-t-on abandonné le Vieux Bassin aux voiliers, pour lesquels les retards ont moins d'importance que pour les vapeurs.

Il faut donc disposer les bassins de façon que les navires puissent les accoster longitudinalement. On a, par suite, à envisager leur superficie à un double point de vue : celui de leur *capacité*, autrement dit du nombre de navires qu'ils peuvent contenir, et celui de la *longueur des quais*, nécessaires aux opérations commerciales.

Capacité. — La Commission italienne dont il a déjà été parlé a proposé la formule suivante pour la superficie Y des bassins, compris les passages, places de stationnement des barques de service et autres :

$$Y = \Sigma\, 3,4\alpha\, Ll$$

L et l longueur et largeur des bâtiments reçus,

α un coefficient qui varie avec la forme et les dimensions des bâtiments, le nombre des passages réservés entre eux, la forme et les dimensions des bassins. Il n'en est d'ailleurs donné aucune valeur.

D'après M. Stevenson, on peut compter :

$$n = \frac{1000}{t} + a$$

n nombre des navires par acre de superficie,

t tonnage moyen,

a coefficient variant de 3 à 4, inversement au tonnage,

Cette formule devient, en substituant l'hectare à l'acre :

$$n = \frac{2500}{t} + 7 \text{ à } 10$$

Elle peut être utile pour les bateaux de faible tonnage, comme indication, mais ne s'applique pas aux grands bâtiments, le terme constant étant alors beaucoup trop élevé. Déjà pour des navires de 2 500 tonnes, elle en indiquerait de 8 à 11 ; or ce nombre ne saurait tenir dans un hectare, même en contact immédiat.

Le mieux, quand on projette un bassin, est le dessiner avec les navires en plan ; un petit papier découpé comme modèle permet de se rendre compte rapidement de l'espace nécessaire aux passages et aux évolutions.

Forme. — La forme ordinaire des bassins est celle d'un rectangle dont la longueur ne dépend guère que des besoins de la navigation et du mouvement commercial du port. Excessive, elle expose pourtant la surface à l'agitation du vent : c'est ce qui arrive en cas de mistral dans le Bassin National de Marseille, dont la longueur atteint 920 mètres. Le *Great Harbour* de Greenock, qui mesure 985 mètres, n'est pas terminé, mais il est à craindre qu'il ne s'y développe des courants nui-

sibles. Pareil inconvénient n'est pas à craindre au bassin de Penhouet (1 100 mètres), parce qu'il ne communique qu'avec une autre darse également à niveau constant; bien protégé, d'ailleurs contre le vent, il n'est jamais assez agité pour entraver les opérations.

D'ordinaire, la longueur ne dépasse guère 600 mètres. Dans les centres importants, où de grandes surfaces sont nécessaires, mieux vaut multiplier les bassins et les affecter à des marchandises spéciales (Liverpool). L'aménagement des quais, des accessoires, des machines, varie avec la nature des opérations et la spécialisation conduit à des résultats économiques.

Largeur. — Quand les bassins communiquent avec un vaste avant-port, une large rivière où les navires peuvent tourner, il est inutile de leur donner une grande largeur; les bâtiments entrés par l'avant ressortent par l'arrière, et il suffit qu'ils puissent abattre du côté où ils doivent se placer, si l'entrée n'est pas dirigée suivant le grand axe. La largeur de 150 mètres est en ce cas considérée comme un maximum ; elle ne sera d'ailleurs que tout juste suffisante avec l'augmentation continue des dimensions des navires. Si l'entrée est dans l'axe, il suffit que les bâtiments puissent circuler au milieu du bassin, entre les deux rangées accostées aux côtés; la largeur peut alors être encore réduite.

A Hambourg, dans certains bassins, non seulement les navires débarquent sur allèges les marchandises destinées aux entrepôts reliés à l'Elbe par des canaux, mais il y a aussi un trafic considérable avec les bateaux de navigation intérieure. On a ménagé pour ce genre d'opérations des bassins spéciaux (Hansehafen, Segelschifhafen, Strandhafen, Kirchenpauerhafen, etc.), dont la largeur atteint 250 mètres. Tandis que les navires rangés le long des quais y débarquent une partie de leur cargaison, ils chargent en même temps des chalands accostés de l'autre côté. De plus, d'autres bâtiments se placent suivant l'axe du bassin, amarrés à des ducs d'Albe, et opèrent avec des allèges sur leurs deux bords. Il y a là une intense utilisation des bassins.

Si les navires ne peuvent tourner dans l'avant-port ou dans une rivière, il faut qu'ils effectuent leur évolution dans le bassin lui-même, dont la largeur doit être prévue en conséquence. Il y a avantage à ne donner cet excès de largeur qu'à l'entrée où est ménagée une surface d'évolution. Le reste du bassin peut avoir une dimension normale. C'est ainsi que l'*Albert dock de Hull* a une forme trapézoïdale et que sa

largeur, de 130 mètres à l'entrée, se réduit ensuite à 60 mètres. Il en est de même au nouveau bassin de Calais, où les dimensions sont de 170 et 120 mètres.

Autres formes. — Quelquefois les exigences du terrain obligent à donner aux bassins une forme irrégulière (Coble Dene dock de Newcastle). L'*Empress Dock* de Southampton constitue un losange (pl. XIV, fig. 3) ; ici, l'expérience a démontré que cette forme insolite était plus commode que l'ordinaire rectangle ; les navires prennent et quittent plus aisément leur poste d'amarrage. C'est d'ailleurs un bassin de marée.

Certains bassins à flot présentent la disposition qui a été adoptée pour l'ensemble du port à Marseille, Trieste, Brest, etc. Ils ont une grande largeur et ont été morcelés en plusieurs compartiments par des traverses. Cette disposition adoptée au *Victoria dock* de Londres s'est pour ainsi dire généralisée dans les bassins nouvellement construits.

Il ne s'agit parfois que de courtes estacades, comme au *Victoria dock*, à South Shields, à l'*Alexandra dock* de Hull ; mais aujourd'hui la disposition la plus généralement admise est identique à celle de Trieste. Un bassin principal, où débouche l'entrée, donne accès à des rues séparées par des traverses parfois d'une grande longueur. On multiplie ainsi la longueur des quais sur un espace restreint (*Herculanum docks* de Liverpool, *Cessnock dock* de Glasgow, *Tilbury docks* de la Tamise, etc. (pl. IX, fig. 3).

A Sunderland, l'*Hudson dock* a été partagé en redans, les uns normaux, les autres obliques au quai ; on a pu ainsi utiliser d'une façon très complète la superficie des bassins.

Lorsqu'on ne peut établir de traverses en maçonnerie, on les remplace par des estacades en charpente. Ainsi au bassin de Penhouet existent quatre appontements de 12 mètres de largeur sur le quai ouest.

Sur les débarcadères en maçonnerie sont installés des hangars et des voies ferrées ; malheureusement leur disposition rectangulaire oblige souvent à l'emploi de plaques tournantes auxquelles on renonce de plus en plus.

On a été ainsi conduit à Dunkerque à former les traverses des bassins Freycinet de parallélogrammes obliques sur le quai de rive ;

les chemins de fer y pénètrent par des courbes. Quand la place ne manque pas on peut d'ailleurs faire arriver les voies par des courbes même sur les traverses normales au quai (*Alexandra dock* de Hull, *Tilbury docks*, etc.).

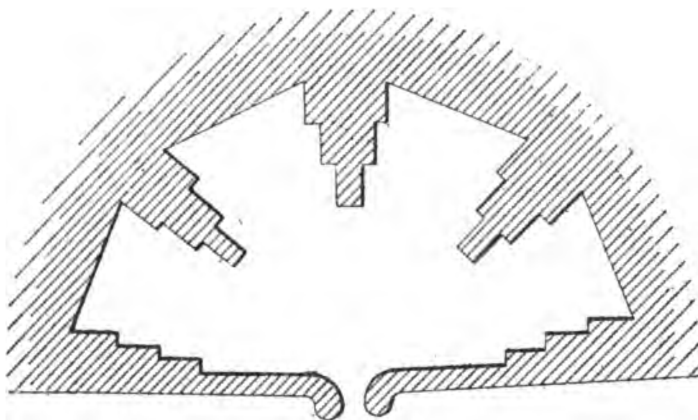


Fig. 62

M. Th. Stevenson regarde la forme de la figure 62 comme la meilleure au point de vue du rendement ; mais l'accostage y semble difficile. Les circonstances seules peuvent fixer le choix de l'ingénieur.

Les quais qui limitent les bassins ont parfois leur direction commandée par les circonstances. A Marseille le fond de la mer, à l'endroit où sont établies les darses, est rocheux ; pour éviter les dérochements, le quai de rive du bassin National a été placé à 13 mètres en avant de celui du Bassin de la Gare maritime. Cette disposition a d'ailleurs procuré un plus large terre-plein.

A Saint-Nazaire, le bassin de Penhouet a la largeur excessive de 230 mètres ; le terrain ne permettait pas l'établissement des murs à une distance moindre, parce que le fond formait là deux talus inclinés à des profondeurs considérables.

Rapport de la longueur des quais à la superficie des bassins. — Pour une même longueur de bassin, la proportion du développement des quais à la surface de l'eau est en raison inverse de la largeur. Dans celui de Penhouet qui est très large, par exemple, et dont la superficie est de 22,5 *ha*, la longueur des quais étant de 2 145 mètres, le rapport est de 95 mètres de quai par hectare de superficie. Il est de 150 dans le bassin de Saint-Nazaire, dont la largeur est moindre.

Le tableau suivant donne cette proportion dans un certain nombre de de ports.

Bassins	Superficie	Longueur des Quais	Rapport
	ha	*m*	*m* par *ha*
Cavendish, Barrow	39	2500	65
Eure, Le Havre	21	1940	90
Penhouet, Saint-Nazaire.	22 1/2	2145	95
Bellot, Le Havre, 2 bassins.	21, 6	2380	110
Bute, Cardiff	14	1740	124
Alexandra, Hull, avec débarcadères	18, 6	2590	140
Saint-Nazaire, Saint-Nazaire	10 1/2	1579	150
Avonmouth, Avon.	6, 4	1060	166
Tilbury, Tamise	22	4200	190
Penarth	9, 3	1830	196
Queen's dock, Glasgow	13, 4	3040	226

Comme c'est le long des quais que s'opère la manutention des navires, on peut conclure que pour une superficie donnée un bassin est d'autant plus utile que la proportion précédente est considérable, et en thèse générale la conclusion est exacte. Mais des conditions spéciales doivent aussi être prises en considération.

A la Joliette (Marseille), les vapeurs des Compagnies Transatlantique et des Messageries Maritimes ne peuvent, faute de profondeur suffisante, aborder le quai ; ils se rangent normalement à la direction des murs et effectuent leurs opérations latéralement sur des allèges. C'est une sujétion qui entraine des frais considérables, mais pourtant se justifie. La dernière de ces Sociétés, par exemple, exécute ses manutentions sur le quai sud, long de 255 mètres ; elle le loue 18 francs par mètre carré et par an, loyer très cher. Sur ce court espace, elle manipule chaque année plus de 300 000 tonnes, soit jusqu'à 1 300 tonnes par mètre courant, et il s'y trouve parfois dix navires en même temps. Dût-elle accoster ses bâtiments par le travers, il lui faudrait pour ces dix bâtiments une longueur de 1 200 mètres de quai, dont la location reviendrait à une somme plus considérable. Pour éviter cette dépense il faudrait ne pas louer à l'année, mais selon le temps d'occupation. Seulement les navires ne seraient pas alors toujours à la même place, grave inconvénient pour une Compagnie. C'est là un cas où malgré une exploitation intense, le rapport de la longueur des quais à la superficie de bassin est réduit.

Le même fait se représente d'ordinaire pour les lignes régulières à

grande vitesse. Les marchandises qu'elles transportent peuvent supporter des frais supplémentaires, aussi leurs quais d'opération sont-ils desservis avec une rapidité qui ne pourrait être acceptée au même prix par les marchandises ordinaires. La proportion entre le développement des quais et la surface des bassins peut donc alors être réduite. Ainsi au Havre il n'y a que 90 mètres de quais par hectare au bassin de l'Eure où opèrent intensivement les transatlantiques, tandis qu'on en trouve 135 au bassin Bellot.

Dans les travaux en cours d'exécution au Havre on a prévu dans l'avant-port un quai de 500 mètres de longueur, où pourront opérer rapidement les navires de la grande Compagnie.

Pour les vapeurs ordinaires et les voiliers dont les manœuvres sont plus lentes, le rapport de la longueur des quais à la surface d'eau $\frac{L}{S}$ a besoin d'être considérable.

A Liverpool, ce rapport est de 264 mètres sur la totalité des bassins. Il y a à ce coefficient considérable deux raisons : l'étroitesse des bassins et la rareté relative des voies ferrées, qui sont le principal facteur de l'utilisation intensive de l'espace.

La forme irrégulière des bassins — et c'est le cas général à Liverpool — rend aussi indisponibles des portions importantes des murs. La longueur des quais, en effet, doit être proportionnée à celle des navires. Sur un quai de 150 mètres, un bâtiment de 125 mètres laissera inoccupés 25 mètres où ne pourra guère se loger un petit bateau.

Il faut avoir égard à cette considération dans les bassins où l'on projette des traverses. Le quai de rive qui sépare deux d'entre elles doit avoir une longueur suffisante pour recevoir un navire entre ceux qui y sont accostés.

Rapport du développement des quais au tonnage. — Le rendement d'un bassin est le nombre de tonnes T dont on y opère la manutention annuelle.

En divisant ce nombre par la longueur L des quais, le quotient $\frac{T}{L}$ est le rendement par mètre courant. S'il était constant, on pourrait déterminer à l'avance les dimensions d'un bassin projeté, d'après l'importance des besoins à satisfaire. Mais ce quotient est très variable avec les conditions des navires, la nature du chargement, les habitudes commerciales du port et surtout l'outillage des quais. Ce sujet sera étudié dans un chapitre spécial.

On estimait, il y a peu d'années, que dans les ports fréquentés, le rendement moyen d'un quai était de 330 tonnes par mètre courant. Dès cette époque pourtant, on atteignait sans outillage 1 200 tonnes sur l'un des quais du bassin du Roi, au Havre, qui reçoit les navires de Liverpool.

La Commission italienne, estimant à 270 tonnes le rendement du mètre de quai à Marseille, a donné la formule suivante pour le développement des quais d'opération nécessaire à l'accostage en flanc des bâtiments.

$$X = \frac{T_c - T_s}{270\,000} + \Sigma L_s$$

X longueur des quais en kilomètres.

T_c tonnage de jauge des bâtiments à voiles ou à vapeur entrant ou sortant en charge (à l'exclusion de ceux sur lest ou en relâche).

T_s tonnage analogue des vapeurs de navigation spéciale à arrivées périodiques ou rapprochées.

ΣL_s somme des longueurs de ceux des plus grands vapeurs constituant le tonnage T_s et qui peuvent se trouver en plus grand nombre dans le port.

Mais aujourd'hui, sur les 10 340 mètres de quais utilisables à Marseille, on manipule beaucoup plus de marchandises; en 1895, le chiffre s'est élevé à près de 5 millions de tonnes, ce qui fait 480 tonnes par mètre de longueur. Il est vrai qu'une partie des navires accoste par l'arrière, ainsi qu'on l'a dit. Il faudrait, pour avoir le chiffre exact, faire le départ. Quoiqu'il en soit, dans le bassin des Docks, très bien outillé, le tonnage manutentionné est de 600 tonnes par mètre de longueur.

Il s'agit là de cargaisons dissemblables. Les marchandises homogènes (grains, charbons, etc.) peuvent être manipulées beaucoup plus rapidement; les grains surtout donnent des rendements très considérables.

Profondeur des bassins. — La profondeur des bassins est en rapport avec le tirant d'eau des navires reçus, auxquels on laisse 50 *cm* d'eau sous la quille. La surface est maintenue à un niveau intermédiaire entre les marées de morte eau et celles de vive eau, si le bassin est précédé d'un sas.

Dans le cas contraire, la perte à chaque éclusée doit être compensée par la marée du jour, et l'on ne peut compter que sur le niveau de morte eau.

Il en résulte que le port ne peut recevoir que les navires de calaison inférieure et cet inconvénient est surtout grave dans les localités où les différences d'amplitude sont considérables comme à Saint-Malo (13,20 *m*). On établit alors le niveau à mi-hauteur entre les plus hautes et les plus basses pleines mers; les pertes d'eau doivent être soigneusement réduites au strict nécessaire.

A Liverpool, un certain nombre de bassins, depuis celui de Brunswick jusqu'au bassin George et comprenant ensemble 32 hectares, n'ont pas une profondeur suffisante pour les navires qu'ils doivent recevoir. Deux solutions étaient possibles: creuser le fond ou élever le niveau de la surface. La première était la plus coûteuse et obligeait à l'abaissement des seuils, la seconde fut préférée.

Trois pompes « Invincible » centrifuges, installées près du Coburg Dock, sont chargées de surélever le niveau de l'eau dans ces bassins. Le diamètre des ailes est de 2,30 *m* et celui des tuyaux d'aspiration et de refoulement 1,37 *m*. La machine compound qui les conduit a deux cylindres de 55 *cm* et 1 mètre de diamètre, 75 *cm* de course et 90 révolutions par minute. Chacune des pompes débite 6,6 m^3 par seconde, soit ensemble 20 mètres cubes.

Aux Millwall Docks de Londres, la même solution a été adoptée; l'alimentation consiste en 8 mètres cubes à la seconde. Ce sont des norias qui y sont employées.

Alimentation. — Les bassins situés sur certains fleuves très boueux sont exposés à être rapidement envasés par l'eau qui y entre et y dépose des sédiments. Pour éviter cet inconvénient, on épure autant que possible l'eau d'alimentation avant de la laisser entrer; on fait même le remplissage avec de l'eau dérivée de rivières voisines.

A Cardiff, une conduite de 3 kilomètres de longueur amène aux Bute docks l'eau de la Taff; Swansea, Newport sont alimentés aussi par des eaux claires, ainsi que l'Alexandra dock de Hull où 4600 litres à la seconde sont pompés de l'Holderness.

A Calcutta, les Kidderpur docks reçoivent l'eau de l'Hoogly lui-même, mais elle est prise à trois kilomètres de distance en amont, par un canal à faible pente, où elle se décante; l'eau purifiée est envoyée par une pompe dans le bassin dont le niveau est maintenu supérieur à celui du fleuve, afin que celui-ci ne puisse y pénétrer.

Le bassin Bellot, au Havre, se remplit non seulement par l'écluse

qui communique avec le bassin de l'Eure, mais aussi par une prise d'eau placée à l'extrémité de la darse est; la vitesse des courants de remplissage entre les jetées et dans les écluses est ainsi diminuée. De plus, on profite de la différence de hauteur (20 *cm*) qui existe entre le niveau maximum de la marée dans l'estuaire de la Seine et à l'ouvert des jetées.

Cette prise d'eau comporte quatre pertuis de 7 mètres d'ouverture dont le radier est arasé à la cote + 4 mètres et qui sont fermés par des vannes.

Au bassin de Penhouet, l'eau est prise par un déversoir mobile placé sur un déversoir fixe en maçonnerie établi à la cote convenable. Il se compose de trois clapets en tôle à axe horizontal inférieur de 8,33 *m* de long sur 1,20 *m* de haut, séparés par des piles en maçonnerie de 2 mètres de largeur et s'appliquant sur des feuillures de 10 *cm* pratiquées dans ces piles.

Ces clapets sont mus par des chaînes s'enroulant sur des tambours portés par un arbre supérieur régnant sur toute la largeur du déversoir; le mouvement de rotation est donné à l'arbre par un appareil hydraulique placé sur l'une des culées du déversoir en maçonnerie.

Des taquets manœuvrés à main sont disposés contre les piles pour ne pas faire supporter aux chaînes et aux appareils le poids des clapets au repos.

Ceux-ci ont été calculés pour supporter le déversement de la lame d'eau dans toute position sans être abattus, afin de choisir la hauteur de la couche d'eau d'alimentation. On accède aux taquets et à toutes les pièces par une passerelle.

Les clapets ne sont manœuvrés que trois ou quatre fois aux époques des hautes mers de vive eau, toutes les quinzaines.

A Bordeaux, l'alimentation avait été prévue par une dérivation des Jalles d'Eysines et de Blanquefort, mais on a dû renoncer à enlever ces ruisseaux aux populations qui s'en servent.

Il a fallu recourir à l'eau de la Garonne elle-même, introduite dans les bassins à chaque marée et dont une partie était approvisionnée dans un réservoir d'alimentation pendant les vives eaux, afin de remplacer les pertes lorsque les pleines mers n'atteignaient pas 4 mètres au-dessus de l'étiage. L'expérience a démontré que ce moyen d'alimentation était insuffisant et envasait le bassin.

Elle a lieu actuellement par trois puits artésiens débitant de 200 à

240 litres par seconde; pendant les grandes marées, on introduit aussi dans le bassin les eaux superficielles du fleuve.

Honfleur. — Le niveau des bassins à flot est d'ordinaire plus élevé que celui du bassin de retenue des chasses; mais il diminue par suite des évacuations d'eau qu'on lance de temps à autre par les écluses. Les différences de niveau finissent par être renversées et il importe de faire le plein dans les bassins à flot pour empêcher les eaux limoneuses du fleuve d'y pénétrer au moment de l'ouverture des portes. C'est ce qui se passe à Honfleur.

La communication aurait pu être établie par des aqueducs ordinaires, mais l'étanchéité eût été difficilement réalisée. On a préféré l'usage de siphons.

Leur diamètre d'un mètre rend malaisé l'amorçage, qui s'obtient par une ingénieuse disposition.

Quand un siphon fonctionne, si l'on perce un trou au coude, où la pression est inférieure à la pression atmosphérique, l'air pénètre dans le tuyau. Si le volume qui entre est considérable, il remplit le coude et le désamorçage s'accomplit.

Il n'en est pas de même si le trou percé est petit: la quantité d'air qui pénètre n'est pas suffisante pour lutter contre le courant d'eau et est emportée à mesure jusqu'à l'orifice de sortie.

Accolons deux siphons communiquant par un petit tube à leur partie supérieure. Si l'un d'eux fonctionne, il vide l'air du second, qui par suite s'amorce.

Or, il est aisé d'amorcer un petit siphon, en en pompant l'air par une pompe; ce travail est long et difficile au contraire dans un siphon de fort diamètre; mais le petit peut être utilisé pour amorcer le grand.

La mise en train du petit siphon de 50 *cm* de diamètre se fait en mettant sa partie supérieure en communication avec un réservoir plein d'eau, qu'on vide. L'air du siphon la remplace et celui-ci s'amorce. Il n'y a plus qu'à le mettre en communication avec le gros pour y déterminer aussi l'écoulement.

L'arrêt s'obtient par l'ouverture d'un robinet suffisant pour faire entrer dans le coude un volume d'air capable d'empêcher l'écoulement.

Les siphons s'amorcent d'ailleurs seuls quand les niveaux sont suffisamment élevés.

Entrée. — Les navires entrent en général dans les bassins aux environs de la haute mer; c'est le moment de l'étale, la manœuvre n'est guère gênée par le courant. Il n'en est pas de même dans le cas où les portes restent assez longtemps ouvertes; il faut alors prendre des précautions afin que les navires ne soient pas drossés.

L'axe de l'entrée s'établit en général perpendiculaire au cours du fleuve; la manœuvre des navires s'opère alors dans les mêmes conditions avant ou après l'étale de plein. L'écluse n'est pas installée contre la rive; on interpose un avant-port assez long pour que le navire y soit à l'abri du courant. Il est en général garni d'estacades en charpente destinées à amortir les chocs possibles et aussi à aider aux manœuvres (Albert-Dock, de Londres, fig. 63; Barry, fig. 64).

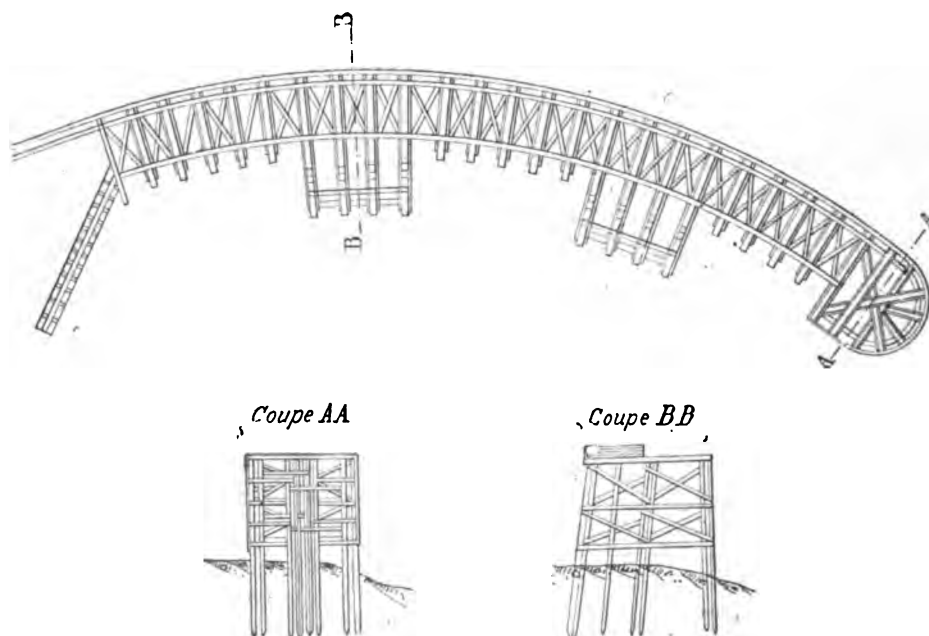


Fig. 63. — Entrée de l'Albert-Dock, Londres.

Cet avant-port a le plus souvent la forme d'un trapèze évasé vers le large.

D'autres fois, à cause des conditions locales, l'entrée est oblique à la rivière. Les navires y pénètrent contre le courant, afin de n'être pas entraînés.

Aux Kidderpur docks de Calcutta, le bassin à flot, précédé d'un bassin de mi-marée, est relié à l'Hoogly par deux entrées munies d'esta-

cades. L'une est dirigée vers l'amont, l'autre vers l'aval, de façon à servir durant les deux phases de la marée. C'est la première qui est l'entrée normale, pour les navires remontés avec le flot et qui tournent sur eux-mêmes avant de se présenter à l'écluse.

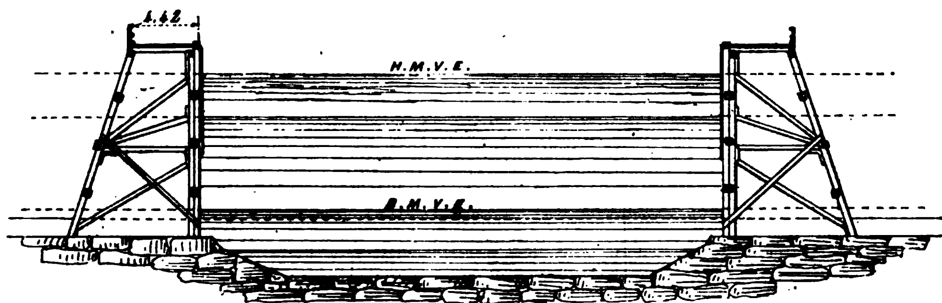


Fig. 64. — Entrée de Barry.

A Liverpool, où les courants de marée sont violents, 2 mètres à la seconde, les manœuvres des bâtiments s'exécutent durant les deux dernières heures du flot et les portes sont fermées à haute mer ou peu après. Aussi la nouvelle entrée du Bassin du Canada est-elle dirigée à angle assez aigu avec l'axe de la rivière; et les navires y pénètrent contre le flot.

Damage du fond. — On est parfois obligé de damer le fond des bassins à flot, en y rapportant de la terre grasse qui est fortement pilonnée; c'est dans le cas où le sol, très poreux, est exposé à laisser échapper l'eau et surtout quand celle-ci peut occasionner des dégradations dans les terrains voisins. C'est ce qui est arrivé aux Millwall docks, où le fond se composait de gravier; l'eau se répandit dans les caves des West India docks.

CHAPITRE XXVI

ECLUSES

Les bassins à flot communiquent avec l'avant-port ou le fleuve auquel ils sont rattachés, par un couloir, l'*écluse*, juste assez large pour le passage des bâtiments et muni de portes étanches qui sont ouvertes un peu avant le plein et fermées au commencement du jusant. Le niveau de l'eau retenue dans ces bassins varie ainsi très peu.

Situation. — Certains avant-ports sont très exposés à la houle et au vent. La manœuvre des navires au moment de leur entrée dans l'écluse est alors très difficile ; celle-ci doit donc être placée dans la partie la mieux protégée. Parfois c'est la qualité du terrain, très importante au point de vue de la fondation, qui détermine le choix de la position.

Il faut aussi que les évolutions des bâtiments soient aisées ; quelquefois elles sont opérées par un remorqueur dont il est nécessaire de prévoir les manœuvres.

Constitution de l'écluse. — L'écluse se compose d'un canal dont le plafond est compris entre deux murs, verticaux ou à léger fruit, les *bajoyers* ; le canal est muni d'un mode de fermeture. Le plus généralement celle-ci se compose de deux vantaux qui constituent une *paire de portes* ; d'autres fois d'un caisson (Portsmouth) ou d'un unique battant (Tancarville, Fécamp).

Entrée. — Les extrémités ou musoirs des bajoyers se raccordent d'une part avec les murs de l'avant-port, de l'autre avec ceux du bassin à flot. Quand l'écluse est établie sur une rivière à fort courant, des dispositions spéciales (page 100) protègent les évolutions des bâtiments, également aidées par des amarres, manœuvrées des estacades établies de chaque côté.

Hauteur des murs. — Les bajoyers sont assez hauts, au moins du côté de l'avant-port, pour dépasser le niveau des plus hautes mers. Sur les côtes allemandes de la Mer du Nord, ce niveau est souvent élevé par les tempêtes beaucoup au-dessus de celui des plus fortes marées. L'excédent atteint jusqu'à 4 mètres à Geestemunde.

Sur les rivières, il faut aussi prévoir les crues exceptionnelles.

La surélévation n'a pas besoin d'être continuée sur toute la longueur du bassin. Par économie et pour la facilité de l'exploitation, il vaut mieux la limiter à l'entrée seule. Ainsi à Geestemunde, les murs ne dépassent que de 2,20 *m* le niveau de plus hautes marées. Seuls ceux de la chambre d'entrée jusqu'aux musoirs ont une hauteur excédente de 2 mètres pour s'opposer à l'invasion des eaux extraordinaires.

Chambres des portes. — Les vantaux tournent dans une portion du canal qui constitue la chambre des portes. Ouverts, les battants s'effacent au fond d'*enclaves* pratiquées dans les bajoyers, laissant ainsi le passage libre. Fermés, ils se rejoignent obliquement et butent contre une bordure de pierres triangulaire ou circulaire, le *busc*. La fermeture oblique a pour résultat d'augmenter la résistance des portes à la poussée de l'eau du bassin à flot quand la mer se retire à l'aval ; la pointe ou la convexité du busc est donc tournée vers l'intérieur.

Seuil. — Le plafond de l'écluse, ou *seuil*, est placé à une profondeur suffisante pour permettre le passage des navires, profondeur qui est donc imposée par le tirant d'eau des plus forts bâtiments qui fréquentent le port et auxquels on doit assurer encore une certaine hauteur d'eau au-dessous de leur quille. Cette hauteur est en général de 30 *cm*. A Liverpool de grands vapeurs n'hésitent pas à s'engager dans les écluses avec seulement 20 *cm* de jeu, à cause de la tranquillité absolue que procure l'existence de bassins servant d'avant-ports. Si au contraire il y a de l'agitation, il faudrait prévoir un excédent de hauteur proportionné au tangage possible des navires.

Le tirant d'eau des bâtiments reçus dans un port est d'ordinaire limité par la profondeur du chenal d'accès ou des atterrages ; mais il faut prévoir qu'avec les puissants moyens de dragage actuels, qui ne feront que se perfectionner, cette profondeur pourra être augmentée presque à volonté. Ainsi à New-York le chenal d'accès, *Main Ship Channel*, qui n'avait que 7,50 *m* d'eau, sera bientôt creusé à 12 mètres.

Baltimore et Philadelphie auront leurs approches draguées à 9 mètres. La barre de Liverpool a été abaissée de 3 à 8 mètres.

La hauteur du seuil se fixera donc en tenant compte des améliorations désirables et possibles dans l'avenir. Il faut d'ailleurs remarquer qu'un navire de calaison assez forte pour ne pouvoir franchir la passe extérieure qu'à toute pleine mer n'arrivera devant l'écluse que lorsque le jusant aura déjà fait baisser le niveau de l'eau ; c'est encore une considération qui agit, en sens inverse, sur la profondeur du seuil.

Au Havre, le plateau qui existe devant l'entrée n'offre aujourd'hui au plein que de 7,90 à 9,80 *m* suivant les marées. Il va être dragué à la cote — 5 mètres et les navires y rencontreront à haute mer de 11,15 à 12,85 *m*. Les seuils actuels pourraient donc être considérablement abaissés ; malheureusement c'est là le plus souvent une opération impossible, à cause de la faible profondeur des fondations des murs.

En Angleterre le seuil le plus profondément situé est celui de Tilbury sur lequel il y a de 12,70 à 13,50 *m* d'eau. A Avonmouth, les navires trouvent de 8 à 11,60 *m*, à Liverpool 9,60 *m* au seuil du Langton dock.

En France, les dernières écluses construites ont leurs seuils aux profondeurs suivantes :

Ports	Profondeur du seuil	Hauteur d'eau aux hautes mers	
		de vive eau	de morte eau
	au-dessous du 0 *m*	*m*	*m*
Calais	1,75	8,70	7,40
Dieppe (bassin de mi-marée) . .	1,00	11,00	7,50
Bordeaux	3,00	9,10	7,90
Dunkerque { Ecluse Freycinet . .	1,50	7,45	6,45
Dunkerque { Ecluse Trystram. .	5,00	9,15	10,90
La Pallice.	5,00	10,80	9,66

Bien évidemment la profondeur du seuil est très avantageuse et n'est limitée que par la dépense, qui croît dans des proportions considérables avec l'abaissement.

Largeur. — La largeur des écluses est celle des plus grands navires reçus, avec 1 à 2 mètres en sus pour faciliter le passage ; dans certaines conditions défavorables de vents, de courants, il est même prudent de porter l'élargissement supplémentaire à 3 ou 4 mètres, surtout dans les écluses simples que les grands navires traversent sans s'arrêter.

Les progrès de l'art naval dans ce siècle se manifestent par les largeurs successives des écluses du Havre. Celle de Notre-Dame qui remonte à 1667, n'avait que 13 mètres. L'écluse de la Barre (1820) était encore bornée à 14 mètres. En 1830 il fallut élargir à 16 mètres l'écluse Notre-Dame et celle de la Floride était portée à 21 mètres en 1847.

A ce moment les formes des navires à aubes faisaient donner 30,50*m* à l'entrée du bassin de l'Eure (1855), dimension adoptée simultanément à Liverpool, Birkenhead et Barrow pour un bassin de chacun de ces ports. La substitution de l'hélice aux aubes a permis de réduire les largeurs des principaux docks de Londres et Liverpool. Elle est de 24,80 *m* au bassin du Kattendijk, 25 mètres à Saint-Nazaire, 25,50 *m* au bassin Morpeth de Birkenhead, 23,35 *m* à Geestemunde; mais on tend à revenir aux largeurs de 30 mètres, à cause des dimensions actuelles des navires.

Dans les ports de second ordre, la largeur de 15 à 20 mètres est suffisante.

Profondeur de la chambre des portes. — Les portes fermées s'appuient contre la face verticale du busc, dont le niveau supérieur est à la hauteur du seuil; il faut donc que le radier de la chambre des portes soit situé plus bas que le radier général; le contact se fait sur une hauteur de 30 *cm* environ et on laisse encore un espace égal au-dessous du vantail afin qu'il ne soit pas arrêté par les vases déposées au fond et qu'on ne peut constamment enlever. Par conséquent, le radier de la chambre des portes se trouvera à 60 *cm* environ au-dessous du seuil. A l'écluse des Transatlantiques du Havre cette différence de hauteur est de 1 mètre.

Busc. — En plan la forme du busc est en France, en Hollande, etc. un triangle isocèle, dont la base est égale à la largeur de l'écluse. La hauteur de ce triangle constitue la *saillie* et le rapport entre cette grandeur et la largeur de l'écluse a une sérieuse importance au point de vue de la résistance des portes à la pression due à la différence de hauteur de l'eau sur leurs parois d'amont et d'aval.

Cette proportion n'est pourtant déterminée exactement ni par la théorie ni par la pratique. Il n'en est pas de même pour les portes cylindriques très usitées en Angleterre. Là, le calcul démontre que le rapport le plus favorable est celui de 1 à 3.

La saillie est beaucoup plus prononcée avec les portes gothiques, également très employées par les ingénieurs anglais : le rapport est de 1 à 7 aux Surrey Commercial Docks de Londres.

En France, il est en général de $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{6}$. Avec la saillie croît la solidité, mais aussi la longueur des portes et par conséquent leur épaisseur qu'on fait en général égale au dixième de la longueur. La profondeur des enclaves est également augmentée pour contenir les vantaux.

Portes des écluses simples. — On appelle *écluses simples* celles qui viennent d'être décrites, par opposition aux écluses *à sas* dont il sera question plus loin. En principe elles ne comportent donc qu'une paire de portes à busc dirigé vers l'intérieur, disposition qui leur fait donner le nom de portes d'*ebbe*.

Parfois il existe deux portes d'ebbe, afin de prévoir les accidents qu'occasionnerait la rupture de l'une d'elles et aussi afin de permettre la réparation de chacune à son tour.

Les vagues qui pénètrent dans l'avant-port peuvent frapper à revers les portes d'ebbe que leur choc ouvrirait aisément. On dispose dans ce cas une paire de portes en aval, c'est-à-dire du côté de l'avant-port vers lequel est dirigé leur busc. Ces portes sont dites *de flot*.

Une écluse simple peut donc comporter deux portes d'ebbe et une de flot.

Longueur des écluses simples. — Il en résulte une grande longueur. Dans une écluse de 20 mètres de largeur avec une saillie du busc de $\frac{1}{5}$, chaque vantail est long de 10,80 *m*. Les enclaves doivent être un peu plus longues, afin de ménager un échappement facile à l'eau au moment de l'ouverture des portes ; ce n'est pas trop que de leur donner 11,25 *m*.

Le minimum de distance possible entre les deux paires de portes est de 5 mètres ; au-dessous la solidité des murs serait compromise et la manœuvre ne pourrait s'exécuter. Une pareille longueur serait également suffisante entre les portes et chacun des musoirs, au point de vue de la résistance des murs. Mais une bonne précaution — trop souvent négligée — consiste à pratiquer là, c'est-à-dire près des musoirs, dans les bajoyers et le radier, des rainures où se placent soit des pièces de bois jointives, soit mieux un caisson mobile étanche qui servent de porte provisoire afin d'isoler l'écluse en cas de réparation.

Une largeur de 15 mètres est alors nécessaire à chacune des extrémités des bajoyers. Une écluse simple à trois paires de portes atteint ainsi la longueur de 73,35 *m.*

En cas d'établissement d'un pont mobile, la longueur est encore plus considérable.

Enclaves. — On a vu ci-dessus que la longueur des enclaves dépasse celle des portes. Il en est de même de leur largeur où doit se loger l'épaisseur du vantail ; on lui donne au moins 30 *cm* de plus, pour que les portes s'y effacent complètement et restent en dehors de l'alignement des bajoyers, afin d'être à l'abri du choc des navires.

S'il existe des portes-valets, dont l'office sera indiqué ultérieurement, elles exigent également une place derrière le vantail.

Inconvénients des écluses simples. — Au passage d'un navire les portes restent ouvertes pendant un temps assez long ; il faut compter plusieurs heures pour le transit de nombreux bâtiments. Il en résulte une notable perte d'eau de la retenue.

L'eau d'un vaste bassin, en s'écoulant par l'écluse, y détermine un courant dont la vitesse dépend de l'acuité de la courbe des marées et se calcule aisément en tenant compte de la superficie du bassin, de la baisse de la marée pendant le temps considéré, de la largeur de l'écluse et du coefficient de contraction. Ce courant est dangereux pour les navires, qu'il pousse contre les bajoyers.

En pratique, la vitesse de l'eau dans le pertuis ne doit pas excéder 20 *cm* à la seconde.

Ecluses à sas. — Ces inconvénients sont évités par l'établissement d'*écluses à sas*, dans lesquelles l'intervalle qui sépare deux paires de portes d'ebbe est assez long pour contenir un navire. Pour l'entrée, les portes d'aval seules sont ouvertes ; une fois le bâtiment dans le sas, elles sont fermées et celles d'amont, s'ouvrant à leur tour, permettent l'accès dans le bassin. L'équilibre du niveau, s'il est nécessaire, ne se fait qu'entre le sas et le bassin et ne nécessite qu'une faible quantité d'eau : perte et courants sont donc évités.

L'écluse à sas peut, comme la simple, être protégée par une paire de portes de flot, même par deux.

Le sas présente encore un avantage important. Il permet l'entrée et

la sortie des petits bâtiments avant l'heure du plein, de sorte qu'en haute mer on n'a à s'occuper que des grands navires.

Comme aux écluses simples, la chambre d'entrée de l'écluse à sas peut être munie de portes de flot et de portes d'ebbe; il serait inutile d'y placer deux paires de porte d'ebbe, car celles qui ferment le sas du côté du bassin suffisent à la sécurité.

Mais, dans certaines occasions, il est nécessaire de placer aux deux musoirs extérieur et intérieur deux paires de portes, l'une d'ebbe et l'autre de flot. C'est lorsque le niveau intérieur est sujet à des variations, comme à Ijmuiden.

A Harburg sur l'Elbe, l'amplitude de la marée est de 1,25 *m*; mais dans les marées de tempête le niveau monte parfois à 5 mètres au-dessus du zéro et descend à près d'un mètre au-dessous, l'amplitude atteignant ainsi près de 6 mètres. La paire extérieure de portes de flot s'explique aisément comme partout; quant à l'intérieure, elle est destinée à jouer par rapport au sas le même rôle et empêcher l'invasion des eaux trop élevées dans le bassin, au cas où l'ouverture des portes est nécessaire.

La même disposition se rencontre à Flessingue, où l'excédent d'amplitude dans les tempêtes atteint parfois 3 mètres.

Longueur des écluses à sas. — La longueur du sas est celle des plus grands bâtiments reçus dans le port et il est nécessaire de prévoir les accroissements chaque jour réalisés. Pourtant ce serait une dépense inutile que de construire une écluse en vue de quelques navires exceptionnels : ils entreront au plein, toutes les portes ouvertes.

Un jeu d'un mètre au moins doit être laissé aux navires pour qu'ils ne touchent pas les portes.

Division des sas. — Les grands sas sont souvent divisés en sections par des portes intermédiaires; on peut ainsi ne mettre en service que l'une des sections, ce qui économise le temps de manœuvre et réduit la dépense d'eau. Par exemple, à la Pallice le grand sas de 165 mètres peut se partager en deux, l'un de 100, l'autre de 50 mètres.

Il y a avantage à placer près de l'avant-port la section qui sera le plus souvent utilisée, ce qu'on conjecture d'après la longueur ordinaire des navires reçus. L'entrée à l'écluse est en effet souvent assez malaisée, à cause de l'agitation de l'avant-port et il y a intérêt à fermer au plus tôt les portes.

Bassin de mi-marée. — Le sas présente souvent une largeur supérieure à celle de la chambre d'entrée, soit pour y accumuler les petits bateaux et n'opérer pour tous qu'une seule manœuvre, soit pour permettre à un remorqueur d'entrer en même temps que le navire qu'il conduit à l'écluse, soit afin de recevoir à la fois deux ou trois grands navires. Dans cette catégorie se trouve le Roath Basin de Cardiff (112 mètres de longueur et 36,60 *m* de largeur).

Le sas devient même parfois un véritable bassin de dimensions restreintes, dit *bassin de mi-marée*, où plusieurs navires se logent en attendant l'ouverture des portes.

Il remplit encore un autre rôle : le niveau des bassins à flot devant rester à peu près constant, les portes n'en sont ouvertes que peu de temps. De peur de les trouver fermées, les navires en retard préfèrent rester en rade plutôt que de s'exposer à échouer dans l'avant-port, éventualité fâcheuse surtout pour les vapeurs à formes fines. Les portes du bassin de mi-marée, au contraire, restent plus longtemps ouvertes ; les bâtiments retardataires dont le tirant d'eau n'est pas trop fort y pénètrent et passent ensuite dans le bassin à flot après égalisation des niveaux.

Le bassin de mi-marée permet encore aux petits navires de *primer* la marée, c'est-à-dire de sortir du port avant la haute mer, en faisant l'opération inverse de la précédente.

A chaque manœuvre de ce genre le bassin à flot perd une partie de son eau, qu'on lui restitue à la haute mer; cette quantité n'abaisse que de peu le niveau, si le rapport des surfaces se tient dans des limites convenables. Ainsi au Havre le sas de la Citadelle (qui va d'ailleurs disparaître), de 4400 mètres carrés de superficie, dessert un bassin de 6 hectares. L'ouverture et la fermeture des portes s'exécutent à mi-marée, c'est-à-dire quand le niveau de la mer est à la cote + 3,65 *m*. Une tranche de 26 *cm* d'eau du bassin à flot suffit à rétablir l'équilibre.

Le bassin de mi-marée est creusé profondément afin d'éviter l'échouage des navires. Au Havre, son plafond est à la cote —2,15 *m* tandis que celui du bassin à flot se trouve à + 15 *cm*.

La présence du bassin de mi-marée a un autre avantage. Le maximum de la différence de son niveau et de celui du bassin à flot n'est que la demi-amplitude de la marée : la pression sur les portes est donc réduite.

Dans les sas ordinaires il est bon de maintenir aussi le niveau de

l'eau à mi-marée au moyen du jeu des portes, afin de diminuer l'effort sur les vantaux.

Il existe des bassins de mi-marée au Havre, à Dieppe, au bassin du Kattendijk d'Anvers, dans plusieurs ports anglais. Il en est qui desservent plusieurs bassins à flots juxtaposés (Liverpool).

Au Havre celui de la Citadelle n'a été établi que récemment, car il n'était guère nécessaire. Grâce à la longue étale de pleine mer dont jouit ce port, les portes des autres écluses, qui sont toutes simples, restent trois heures ouvertes et toutes les manœuvres se font en temps utile. Le bassin de mi-marée ne sert qu'aux navires très en retard.

Un pareil bassin sert quelquefois d'annexe aux bassins à flot. Ainsi l'écluse construite à Bremerhaven qui a 215 mètres de longueur avec une largeur de 28 mètres à l'entrée et une profondeur de 6,50 *m* d'eau sur le seuil, s'élargit jusqu'à 45 mètres dans le sas. Les navires s'y rendent pour primer la marée, afin d'arriver au plein sur les bancs situés à dix kilomètres en aval. Pendant qu'ils y séjournent, ils complètent leur chargement, apporté par des allèges.

Communication entre deux bassins à flot. — Elle se fait par une écluse simple, munie de deux paires de portes dirigées en sens inverses pour que le niveau de chacun des bassins puisse être abaissé sans influencer l'autre (écluse Bellot du Havre, plusieurs bassins de Liverpool).

Ecluses multiples. — La manœuvre d'une écluse simple est plus rapide que celle d'une écluse à sas; aussi même quand la nécessité de la dernière s'impose, lui en accole-t-on parfois une simple pour le service courant. Ainsi, à Saint-Nazaire, la plus grande écluse, de 25 mètres de largeur, est simple. Construite en vue des transatlantiques, elle n'est ouverte que pendant une heure au plein et les grands navires y passent librement, tandis que les plus petits pénètrent de l'espace d'une mi-marée à l'autre par l'écluse à sas de 60 mètres de longueur sur 13 mètres de largeur.

Suivant les besoins plusieurs écluses à sas sont aussi accolées; il y en a deux à Bordeaux, à Calais, à la Pallice où l'on en avait prévu trois. Au Brocklebank dock (Liverpool) il y a une écluse simple et deux à sas. A l'entrée du canal de Manchester, à Eastham (fig. 65), trois écluses à sas sont accolées; elles ont respectivement 9 mètres, 15 mètres et

25 mètres de largeur, avec 45 mètres, 106 mètres et 183 mètres de longueur.

Fig. 65. — Canal de Manchester. — Ecluses d'Eastham.

Il est évident que le seuil de ces diverses écluses n'a pas besoin d'être descendu à égale profondeur; ainsi à Eastham, le seuil de la petite écluse est à 3 mètres au-dessus de celui de la grande.

CONSTRUCTION DES ÉCLUSES.

Forme du radier. — Le radier a souvent la forme d'une voûte surbaissée renversée (fig. 66, 67 et 68); il résiste mieux ainsi à la sous-pression produite par les infiltrations de l'eau du bassin ou des eaux avoisinantes. Cette forme, générale en Angleterre, facilite le nettoyage.

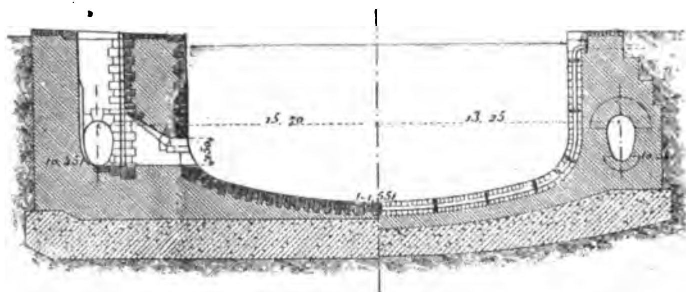


Fig. 66. — Ecluse Freycinet. — Demi-coupe transversale.

La courbe de la voûte est un arc de cercle (Fécamp, la Floride du Havre), ou une anse de panier (écluse Freycinet de Dunkerque). Parfois les courbes sont remplacées par leurs cordes et le radier se compose de deux plans inclinés vers l'axe.

La forme courbe était indiquée par l'ancien profil des navires. Aujourd'hui les fonds des bâtiments sont plats et même souvent pourvus de fausses quilles contre le roulis. Le radier plan paraît dès lors plus logique et tel il a été construit à la plupart des écluses du Havre. A celle des Transatlantiques, pour donner une plus large assiette aux bajoyers qui autrement auraient pu déterminer par leur poids le tassement du sol de fondation qui est de mauvaise qualité, le profil du radier est composé de deux demi-anses de panier réunies par une droite, forme qui diminue les chances de choc des navires.

Les portes munies de roulettes qui se meuvent sur une bande métallique encastrée dans le radier de la chambre exigent nécessairement un radier plan.

Quand la fermeture a lieu par un bateau-porte, le radier pourrait être en voûte renversée, mais il y a alors des raisons de formes du

caisson qui rendent la construction de cette voûte difficile ; elle n'existe guère qu'au bassin Great Western de Plymouth.

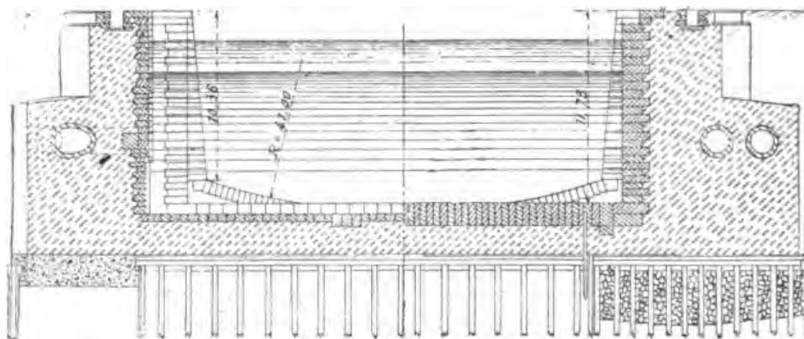


Fig. 67. — Alexandra dock, Hull. — Coupe de l'écluse.

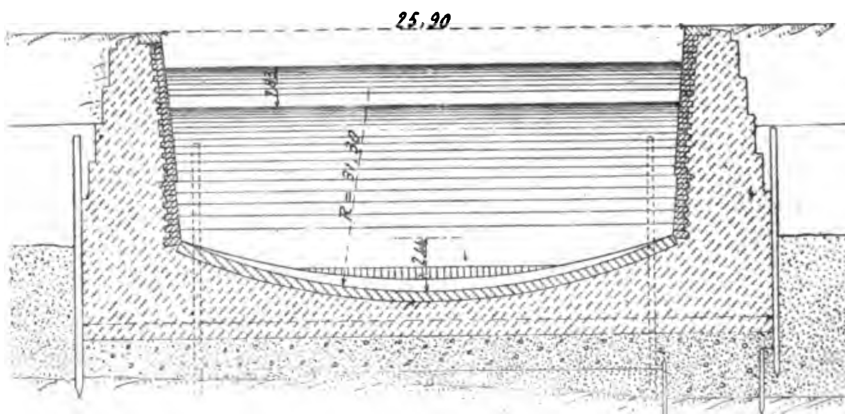


Fig. 68. — Alexandra dock, Hull. — Coupe de la chambre d'entrée de l'écluse.

Souvent le radier se raccorde aux bajoyers par un arc de cercle, qui doit être supprimé dans les enclaves afin de faciliter le mouvement de l'eau pendant la manœuvre des portes.

Avant-radier. — Quand le sol de fondation de l'écluse est meuble, il est exposé à être affouillé par les courants souterrains, surtout en aval. Ces courants emportent parfois les sables fins sur lesquels on a bâti et il en résulte des affaissements du radier et par conséquent des fissures. On empêche cet effet de se produire par une enceinte qui contourne le sable. Ce rôle est dévolu aux avant et arrière-radiers, limités par une enceinte de pieux et palplanches (parafouilles).

A l'écluse Freycinet de Dunkerque, l'avant-radier d'amont a 8 mètres de longueur, celui d'aval 40 mètres. Ils sont constitués par un corroi d'argile d'un mètre d'épaisseur, au-dessus duquel s'étend une couche de 50 *cm* de menus matériaux liés par des déchets de chaux et enfin par un revêtement de maçonnerie sèche de libages de 50 à 60 *cm* d'épaisseur, dont les joints sont remplis par des débris de pierres coincés au marteau et cimentés par des déchets de chaux. Ce massif est encore consolidé dans l'avant-radier d'aval par trois liernes transversales boulonnées de deux en deux mètres sur des pilotis en grume de 4 mètres de longueur (fig. 69).

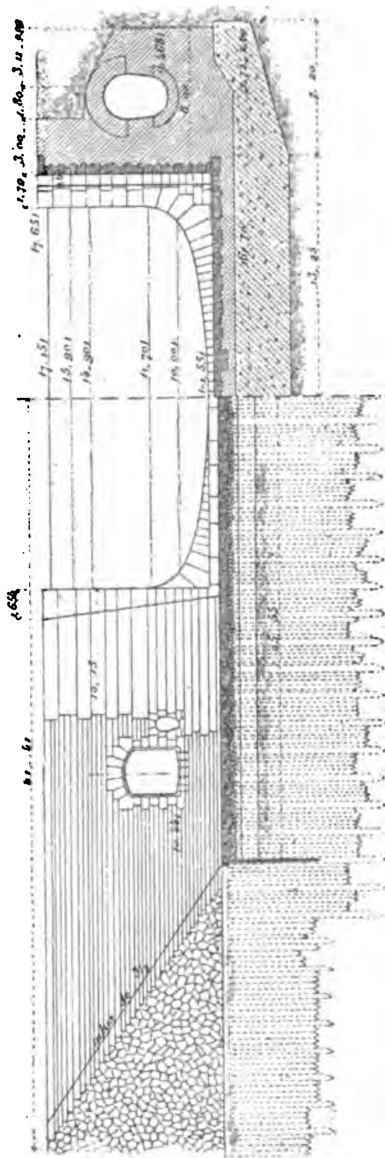


Fig. 69. — Ecluse Freycinet. — Demi-élévation et demi-coupe.

Epaisseur des radiers. — Plusieurs méthodes de calcul de l'épaisseur du radier ont été proposées. En général cette couche de maçonnerie est regardée comme une poutre encastrée dans les bajoyers et subissant une pression verticale de bas en haut uniformément répartie. Cette charge est due à la différence de pression résultant de la hauteur de l'eau environnante au-dessus du fond du radier. Elle peut dépasser 12 mètres.

Soient h la charge d'eau, D et d les poids spécifiques de la maçonnerie et de l'eau de mer, L la largeur du radier.

La charge par mètre courant est égale au poids du volume d'eau hd, diminuée de celui de la tranche de maçonnerie eD; soit $hd - e\text{D} = p$.

Dans la formule

$$\frac{RI}{n}=\frac{pL^2}{24}$$

on a

$$n=\frac{e}{2} \qquad I=\frac{be^3}{12}\,(\text{avec}\, b=1).$$

La formule donne, après transformation,

$$e=\frac{L}{2}\sqrt{\frac{p}{R}} \qquad (1)$$

équation qui devient du second degré en e, en remplaçant p par sa valeur.

Mais un tel calcul n'est guère rigoureux. Les formules de la résistance des matériaux sont basées sur l'élasticité des pièces de bois ou de métal, dont les dimensions en hauteur et en largeur sont peu différentes. Les maçonneries ne sont guère élastiques et la longueur d'un radier (car c'est la longueur qui est ici la largeur de la pièce ordinaire) atteint de 40 à 50 fois la hauteur.

On ne connait d'ailleurs guère la valeur de la résistance R à la rupture pour la maçonnerie. Bellot, de ses expériences, a conclu pour le béton à R = 360 000 kilogrammes par mètre carré. D'autres expériences donnent 400 000 kilogrammes à l'écrasement. On n'est pas davantage fixé sur le coefficient de sécurité à adopter. Pour le métal, on se contente de 6; mais pour la maçonnerie, même à l'écrasement, on le prend égal à 10 et parfois jusqu'à 20.

En revanche, comme valeur de la sous-pression, on compte h comme égal à la différence entre le niveau des hautes mers et la face inférieure du radier, valeur sans doute excessive dans la plupart des cas, mais qui ne serait pas exagérée dans les terrains très perméables.

M. de Préaudeau, assimilant le radier à une plate-bande renversée appuyée sur les bajoyers, conception sans doute plus légitime, a donné une méthode de calcul qui, en y remplaçant les éléments fixes par leurs valeurs ordinaires, aboutit à peu près à la formule

$$e=\frac{L}{5} \qquad (2)$$

Le radier de la forme de radoub n° 5 du Havre a 3,15 m d'épaisseur. Elle aurait 3,60 m si l'on avait appliqué la formule (2).

L'épaisseur 3,15 m répondrait dans la formule (1) à une valeur de

63 000 pour R; le coefficient de sécurité ne serait donc que de $\frac{1}{6}$ environ si l'on adopte le chiffre de Bellot pour la résistance du béton à la rupture. Ce coefficient étant réduit à $\frac{1}{10}$ (soit R = 36 000) donnerait $e = 4,15$ *m.*

L'épaisseur existante correspond à $e = \frac{L}{5,7}$.

La dernière indiquée à $e = \frac{L}{4,3}$.

De nombreux ouvrages établis montrent que la proportion $\frac{e}{L}$ varie de $\frac{1}{9}$ (Fécamp) à $\frac{1}{3,6}$ (troisième bassin de Rochefort) et que dans la majorité des cas elle est de $\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{7}$ suivant les difficultés du terrain.

Il est nécessaire de renforcer d'un mètre d'épaisseur par dessous la maçonnerie du radier aux parties exposées comme les buscs, les rainures, les musoirs. Ces redans ont encore l'avantage d'intercepter le courant des eaux sous-jacentes et servent ainsi de parafouilles supplémentaires. Leur raccordement avec le reste de la maçonnerie ne se fait pas à angle droit, car il y aurait au joint tendance à se fracturer.

En Hollande et surtout en Allemagne, où les terrains maritimes sont souvent de mauvaise qualité, on se préoccupe beaucoup plus qu'en France de cette précaution d'intercepter le cours des sources souterraines.

Dans les écluses à radier de charpente, on ménage sous chaque seuil et chaque musoir une cloison transversale étanche formée de palplanches jointives enfoncées dans le sol. Il a même été établi des cloisons étanches longitudinales, dont on profitait d'ailleurs pour faciliter l'épuisement des fouilles.

A Ijmuiden, à Geestemunde on a établi des cloisons étanches en pilots sous les radiers en maçonnerie, au droit des redans des seuils. Il faut se garder de faire traverser le radier par ces pieux (ce qui a été fait dans la première de ces localités) ; tout au plus peut-on noyer la tête des pilots dans la moitié inférieure du béton (Geestemunde) et moins encore serait préférable.

On a vu ci-dessus que par suite d'affouillements les radiers se fissuraient parfois ; cet effet est aussi produit dans les terrains de très mauvaise qualité par l'excès de pression exercé par les bajoyers sur les

extrémités du radier. Cette nature de terrain sera consolidée, avant la construction, par un pilotis.

Au contraire, si la fondation repose sur un roc solide (La Pallice, Cherbourg, Saint-Nazaire), celui-ci est simplement dressé, soit directement, soit par une mince chape de béton.

A Brême on n'a pas hésité à établir sur un fond d'argile compacte un bassin de radoub sans radier; à plus forte raison la solution est-elle admissible pour une écluse qui a moins besoin d'étanchéité; c'est ce qui été fait à Bremerhaven pour une écluse de 215 mètres de longueur. La chambre d'entrée a reçu un radier.

Radiers en charpente. — Dans les pays nouveaux une telle solution peut s'imposer dans des cas spéciaux. Le radier se compose de madriers jointifs fixés sur des traverses horizontales reliant les têtes d'un pilotis. Celui-ci demande à être exécuté avec le plus grand soin ; les pilotis doivent avoir une longueur assez grande. En effet, la souspression tend à soulever le plancher et cet effet peut se produire dans une marée exceptionnelle comme à Bremerhaven où le déplacement vertical s'est élevé à 30 *cm*.

Aussi l'exécution des radiers en charpente demande-t-elle un temps assez long.

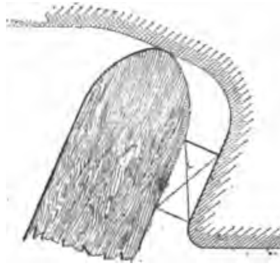
Epaisseur des bajoyers. — Les portions des bajoyers qui n'ont pas à résister à la poussée des portes pourraient être calculées comme les murs de quai ; les autres seraient renforcées. Mais comme les bajoyers sont en général percés des aqueducs de sassement, leur épaisseur est beaucoup plus considérable que ne l'indiquerait un tel calcul et elle est à peu près égale à leur hauteur. A l'écluse des Transatlantiques du Havre, l'épaisseur est de 11 mètres pour une hauteur de mur de 13 mètres. A l'écluse du Canada, Liverpool, ces dimensions sont respectivement 15 mètres et 12,80 *m*. La largeur de ces écluses est de 30,50 *m* l'une et l'autre.

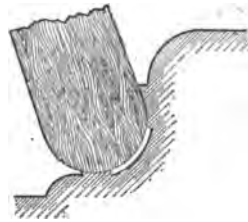
Bajoyers. — Ils sont verticaux, plus rarement inclinés avec un fruit de $\frac{1}{12}$ environ ; la verticalité est indispensable dans la chambre des portes. Ils ne présentent d'ailleurs aucune particularité de construction, si ce n'est aux *chardonnets*, surface courbe contre laquelle tourne la porte autour d'une pièce cylindrique verticale appelée le

poteau-tourillon. Le contact hermétique entre cette pièce et le chardonnet est difficile à obtenir.

Quand le poteau-tourillon est en bois, sa surface cylindrique peut s'appuyer exactement sur la moulure identique du chardonnet. Celui-ci reçoit alors la forme de la figure 70, qui représente le vantail fermé et appuyé contre le busc. On verra plus loin que le poteau-tourillon est alors légèrement excentré.


Fig. 70.
Chardonnet pour poteau en bois.


Fig. 71.
Chardonnet pour poteau en métal.


Fig. 72.
Chardonnet employé en Hollande.

Si le poteau-tourillon est en métal, on adopte la forme de la figure 71; le vantail ferme en s'appuyant contre une pièce de bois interposée. Souvent d'ailleurs les portes en métal reçoivent un poteau-tourillon en greenheart.

En Hollande surtout on rencontre beaucoup la forme indiquée par la figure 72.

Matériaux. — Toutes les parties exposées aux chocs doivent se faire en pierres de tailles : bajoyers, musoirs, couronnement, angles des enclaves, chardonnets, busc, rainures.

Ces pierres taillées ont à résister à des efforts considérables; leurs joints sont malaisés à faire; aussi importe-t-il de les choisir très volumineuses. L'obligation s'applique surtout au busc, au chardonnet et encore plus à la *bourdonnière* (fig. 73) qui reçoit le pivot de la crapaudine du poteau-tourillon, dont la forme est toute spéciale et qu'on encastre aussi bien sous les bajoyers que dans le radier.

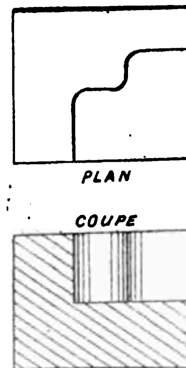


Fig. 73.
Bourdonnière.

Les angles extérieurs des pierres de taille sont arrondis. La figure 74 indique l'un des appareils de busc que l'on rencontre dans la pratique.

Faux busc. — En France, la face verticale du busc est le plus souvent protégée par une pièce de greenhart contre laquelle s'appuie, sur 30 *cm* de hauteur, le vantail fermé : on l'appelle le *faux busc*. Cette

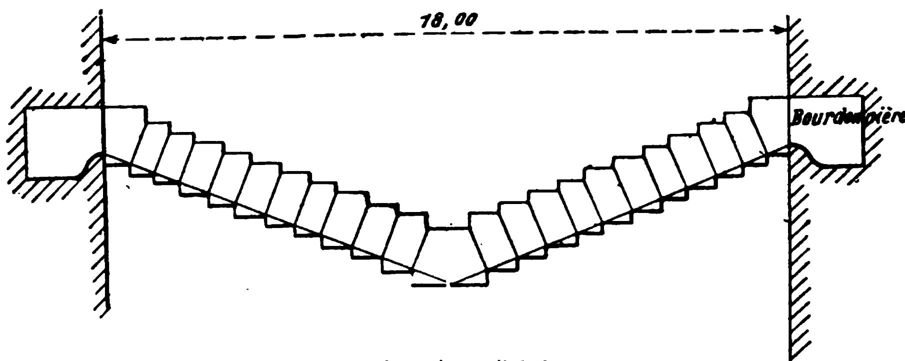


Fig. 74. — Appareil de busc.

pièce sert de liaison entre les pierres du busc. Elle est surtout utile avec les portes métalliques, revêtues elles-mêmes d'une fourrure en charpente le long de leur arête inférieure. Le contact entre les deux pièces donne une étanchéité qui ne serait pas obtenue entre la tôle et la pierre.

L'emploi du faux busc n'est pas répandu dans les autres pays.

Organes de sassement. — Les sas sont mis en communication avec le bassin ou l'avant-port le plus souvent par des aqueducs spéciaux.

La disposition de ceux de l'écluse de Dunkerque peut servir de type (fig. 75 et 76).

Chaque bajoyer est traversé, dans toute sa longueur, par un aqueduc d'où se détachent trois conduites transversales débouchant dans le sas, l'une à l'extrémité amont, l'autre en amont de la chambre des portes du milieu, la troisième dans la chambre des portes d'aval. La section de la première est de 3 mètres carrés ; celle de chacune des autres de 2 mètres, en tout 7 mètres carrés.

L'aqueduc longitudinal est donc partagé en quatre tronçons dont les sections sont en rapport avec le volume d'eau qui les traverse. A partir de l'amont, la section des tronçons est successivement : 5 m^2, 3 m^2,

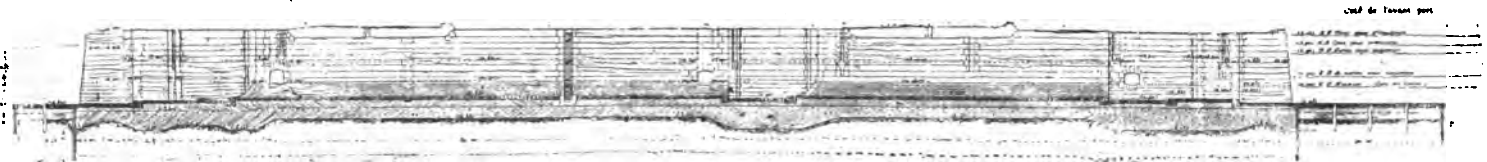


Fig. 75. — Ecluse Freycinet. — Coupe longitudinale suivant l'axe.

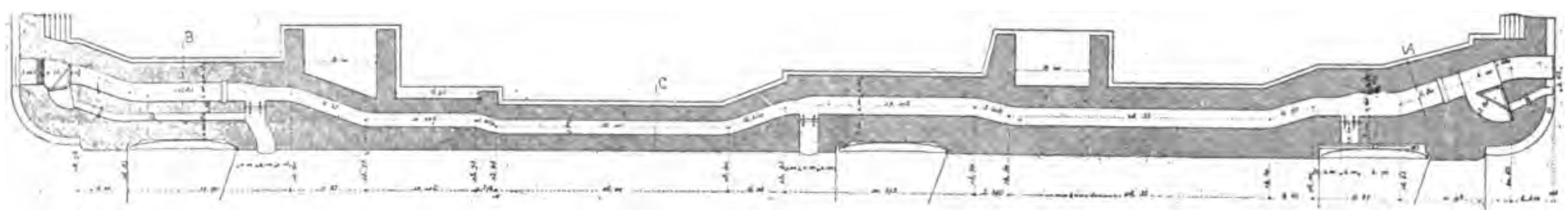


Fig. 76. — Ecluse Freycinet. — Aqueduc de remplissage.

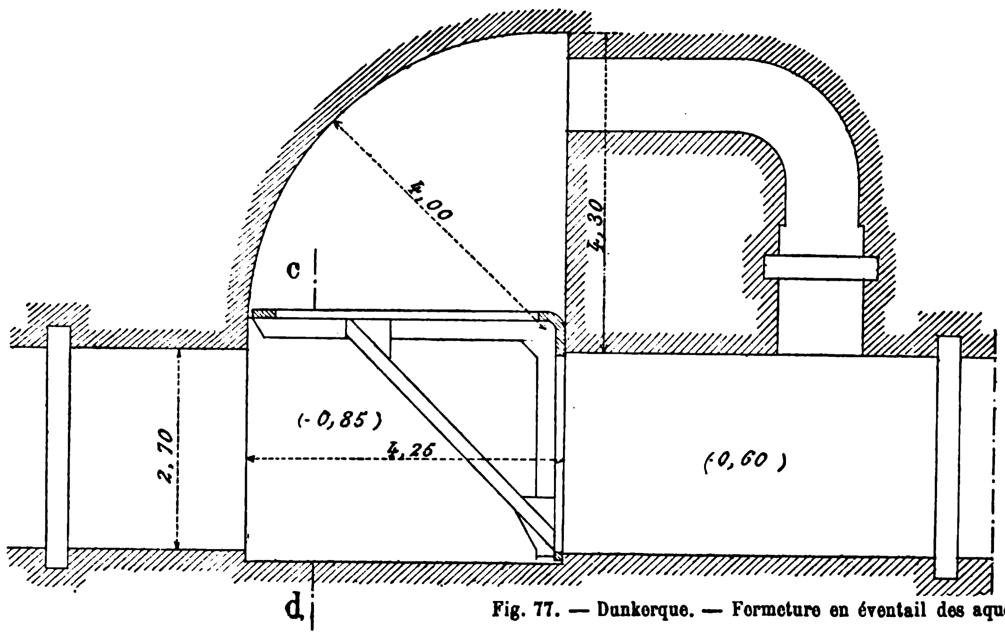


Fig. 77. — Dunkerque. — Formeture en éventail des aqueducs.

5 m^2 et 7 m^2. Les radiers étant arasés un peu au-dessus du niveau des basses mers, la visite en est possible aux marées de vive eau; les ouvertures de l'aqueduc longitudinal sont alors fermées par le rabattement de clapets à charnières ordinairement relevés.

La porte de manœuvre de l'aqueduc longitudinal est du modèle dit à éventail, qui emprunte à l'eau du bassin son système d'ouverture (fig. 77). Elle se compose de deux panneaux à angle droit oscillant autour d'un axe vertical; l'un des panneaux est un peu plus grand que l'autre. Derrière lui est une chambre prolongée par un canal de fuite où manœuvre une vanne. Celle-ci fermée, l'eau de la chambre et celle d'amont sont au même niveau; mais la vanne ouverte, l'eau de la chambre s'écoule et la pression de celle d'amont repousse le panneau long, d'où résulte l'ouverture du panneau court.

Le sas se remplit alors par les trois aqueducs transversaux. Si l'un seul des petits sas fonctionne, on ferme l'aqueduc transversal inutile.

La vidange des sas s'opère par la manœuvre inverse.

Le grand sas, d'une superficie de 2780 mètres carrés, se remplit en deux minutes quand la dénivellation entre le bassin à flot et l'avant-port est de 3 mètres.

Dévasement de la chambre des portes. — Il se produit toujours dans la chambre des portes un dépôt de vase qui arrêterait les manœuvres, s'il n'était fréquemment enlevé. Souvent l'extraction est opérée par des chasses d'eau empruntée au bassin à flot lui-même (Dunkerque).

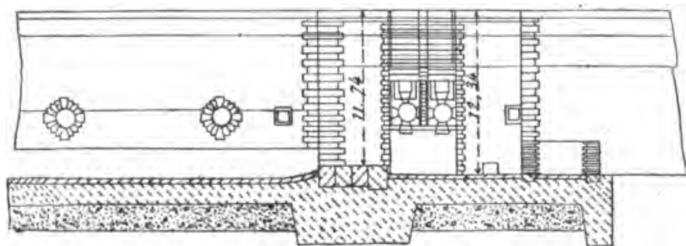


Fig. 78. — Alexandra dock. — Portuis.

En Angleterre surtout, on dispose du bas des bajoyers une série de petits pertuis communiquant avec les aqueducs longitudinaux, et d'où sort l'eau sous pression (fig. 78 et 79).

Aujourd'hui le dévasement s'opère plutôt à la drague; les clamshells

ou les machines à élindes latérales conviennent à ce travail, parce qu'elles peuvent approcher des parois verticales.

Un jet d'eau sous pression suffit aussi quelquefois pour mettre la vase en suspension et la faire enlever par le courant du jusant.

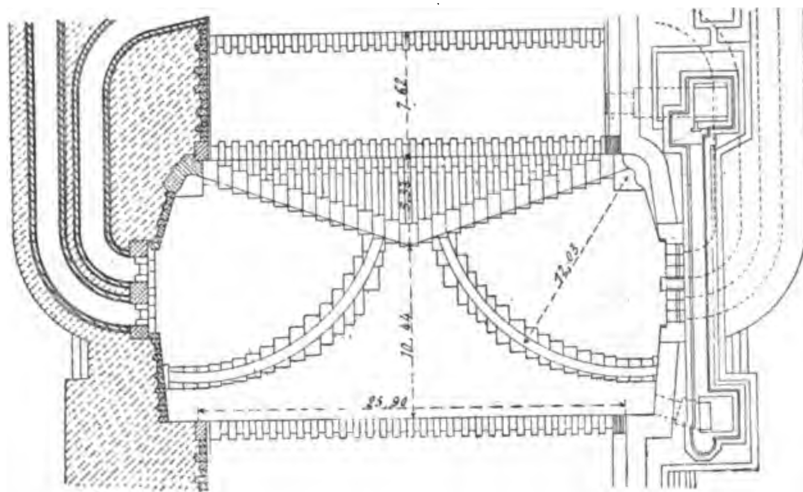


Fig. 79. — Alexandra dock, Hull. — Plan du seuil extrême.

Aux docks de Tilbury, le curage est effectué par un petit vapeur qui traîne à son arrière une herse et un jeu de tuyaux où l'on injecte de l'eau sous pression. Le vapeur opère pendant l'ebbe, non seulement dans les écluses mais encore dans le bassin de marée.

Des râteaux sont également employés dans divers ports.

Chasses au Canada Basin, Liverpool. — La Mersey laisse déposer dans les bassins de Liverpool une forte quantité de sédiments. Le seuil de Langton Dock ayant été placé à la cote — 60 *cm*, qui n'avait jamais été atteinte dans ce port, il a fallu installer un puissant réseau de chasses (pl. IX) dont l'eau est empruntée au dock lui-même. Celui-ci est relié au bassin de marée (*basin*) par deux écluses de 20 mètres de largeur, séparées par une pile centrale. Dans les bajoyers et la pile sont établis des aqueducs, partie en maçonnerie (3,65 × 3,65 *m*), partie en tuyaux métalliques de 2,50 *m* de diamètre, munis de vannes; ils se ramifient en nombreux pertuis placés dans la maçonnerie basse des estacades de l'entrée et débouchant dans les chenaux extérieurs.

La moitié du bassin de marée devant les écluses est dévasée de la

même façon, par des tuyaux de 2,50 *m* de diamètre, enterrés dans le bassin au milieu d'une couche de béton qui tapisse le fond ; il s'en élève des crépines verticales, munies de bouchons en greenheart, habituellement fermés, mais qui sont enlevés par la poussée de l'eau au moment de la chasse ; leur course est limitée par des chaînettes.

Une installation semblable à celle de l'estacade nord existe dans l'estacade du sud et est alimentée par l'eau du Canada dock ; elle dévase l'entrée et les abords par lesquels les navires pénètrent dans le bassin de marée.

D'après l'ingénieur du port, ce système était indispensable au maintien des profondeurs ; la dépense en a été considérable.

Tunnel. — Il faut avoir soin de prévoir un tunnel pour le passage sur la rive opposée des conduites d'eau, de gaz, des fils télégraphiques, etc. Ce tunnel passe sous le radier. Un tuyau en fonte de 2 mètres de diamètre est le procédé le plus commode. On le pose avant tout. Cependant on le construit aussi en maçonnerie. Sous l'écluse nord de Buenos-Ayres, le tunnel est en briques ; il a 2,3 *m* de largeur et 3 mètres de hauteur ; les tuyaux sont portés sur des consoles métalliques latérales ; une petite voie ferrée est installée sur le fond.

A l'écluse Trystram de Dunkerque, le tunnel est constitué par un siphon métallique de 1,80 *m* de diamètre, noyé dans le radier.

Rendement des écluses. — L'écluse de Dunkerque, de 21 mètres de largeur, a un sas de 129 mètres de longueur, qui peut être divisé en deux portions de 77 et 52 mètres. Le remplissage total du sas dure, tout compris, trois minutes et cinq au plus dans les circonstances défavorables.

A l'écluse de la Citadelle, du même port (50 mètres de longueur), on compte que si dans une sassée il entre et il sort des navires (sassée double), il faut 50 minutes pour une entrée et 4 sorties, et 35 minutes pour une entrée et une sortie. Si les navires vont tous dans le même sens (sassée simple), il faut 25 minutes pour un navire et seulement 30 minutes pour quatre.

Dans ce temps figurent : 15 minutes pour les manœuvres des portes, le jeu des vannes et les variations de plan d'eau ; le reste est affecté au halage des navires

A la Citadelle, l'écluse peut rester ouverte pendant 4 heures 20 minutes et laisser passer 50 navires de 100 tonneaux.

Au Canada Basin, le 13 février 1889, on a fait entrer et sortir du dock en 2 heures 20 minutes, 23 grands vapeurs jaugeant ensemble 34 000 tonneaux et 35 plus petits bateaux.

En 1888, à Millwall Dock, en huit heures on a fait entrer 13 navires jaugeant 15 000 tonneaux et fait sortir 9 de 14 000 tonneaux. De plus 67 chalands sont sortis et 79 entrés, soit un total de 158 bâtiments.

Parmi les grandes écluses, on peut citer les suivantes :

Ecluse Trystram, Dunkerque. — L'écluse nord des bassins de Freycinet a une longueur utile de 176,50 *m*, divisible en deux portions de 106,80 *m* et 69,70 *m*. La largeur est de 25 mètres et la hauteur d'eau sur le busc de 10,90 *m* en haute mer, le seuil étant établi à la cote — 5 mètres (fig. 80).

Les mouvements d'eau sont effectués par deux aqueducs longitudinaux de 2,70 *m* de largeur et 3,50 *m* de hauteur, fermés par des portes en éventail et communiquant avec le sas par 16 aqueducs transversaux.

La fondation a été effectuée dans une fouille de 4 hectares de superficie creusée à la cote — 11 mètres dans les têtes et — 9 mètres dans le sas ; le batardeau d'aval, vers la mer, était constitué par du sable recouvert d'une épaisse couche de terre que protégeait contre la vague un perré en pierres sèches. Le batardeau d'amont, vers les darses, était en sable fin pur, arrosé et damé par couches. On a pris la précaution ordinaire de ne laisser entrer l'eau dans les bassins que très lentement, pour ne pas avarier le batardeau.

Le béton a été coulé sur un pilotis de 6 300 pilots de 5 mètres de longueur en moyenne ; la couche est épaisse de 3,70 *m* dans le parafouille, de 3 mètres dans les chambres des portes et 2 mètres dans le sas ; elle est recouverte d'une maçonnerie de briques et d'un pavage en moellons dans le sas et en pierres de taille dans les chambres. Le radier a ainsi une épaisseur de 4 mètres à 5,30 *m*.

L'avant-radier d'aval a 22 mètres de longueur. Les musoirs ont des rainures pour caissons-portes. Un siphon métallique de 1,80 *m* de diamètre, noyé dans le radier, reçoit les diverses canalisations d'eau, de gaz, etc.

Bremerhaven. — La dernière écluse, construite à Bremerhaven, en 1897 présente quelques particularités intéressantes. Elle est située au fond d'un canal de 300 mètres de longueur communiquant avec le

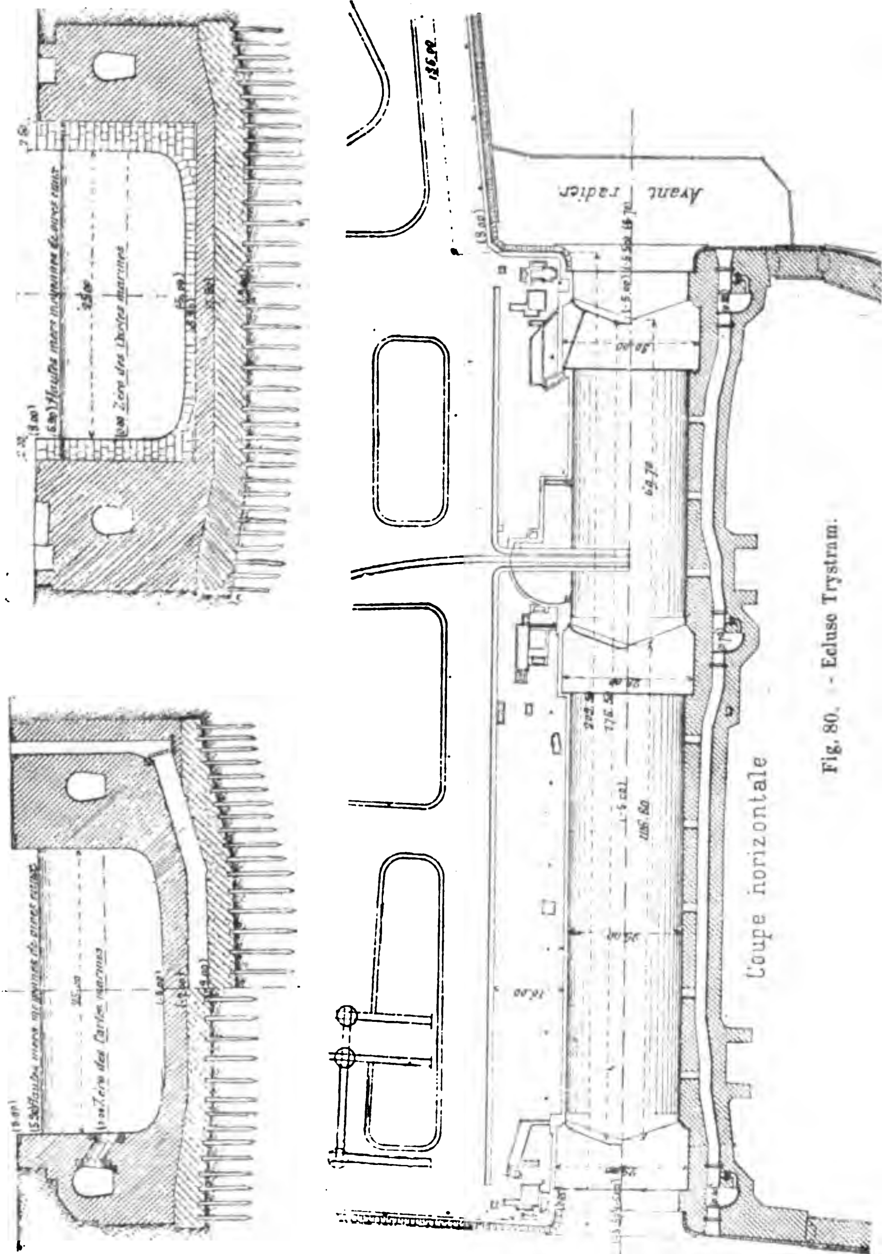


Fig. 80. - Ecluse Trystram.

Weser. La longueur du sas est de 215 mètres, la largeur de l'entrée est de 28 mètres, la profondeur du seuil 6,50 *m* (la marée est de trois mètres en morte eau) (fig. 81).

L'écluse a été creusée dans l'argile dure imperméable ; aussi s'est-on dispensé d'établir un radier dans le sas. Il n'en est pas de même dans les chambres d'entrée. L'entrée est fermée par un caisson glissant. Le bassin reste ouvert deux heures et demie en moyenne.

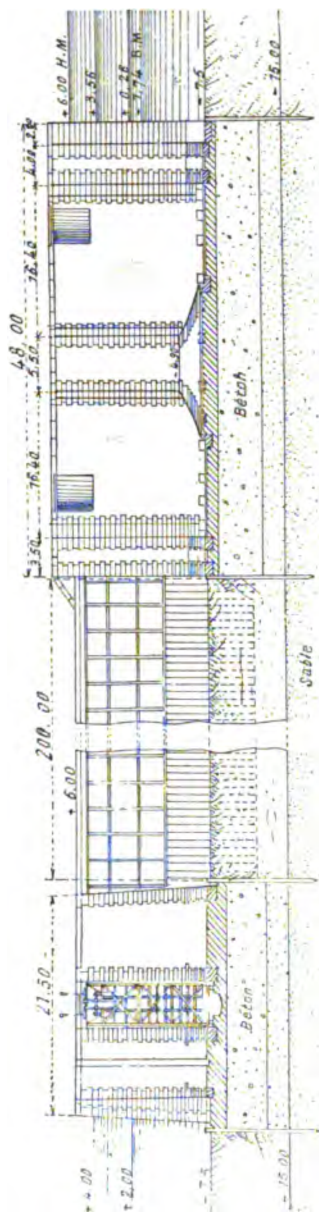


Fig. 81. — Bremerhaven. — Coupe longitudinale.

Les murs (fig. 82) sont fondés sur des pieux tous enfoncés obliquement

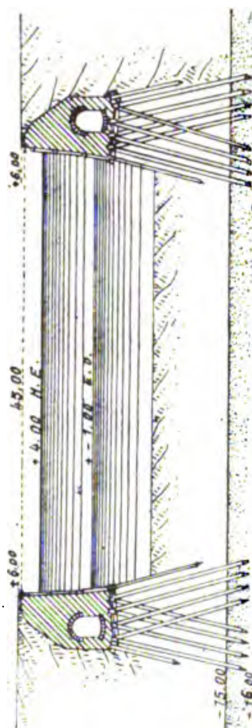


Fig. 82. — Ecluse Bremerhaven. — Coupe transversale.

par rangées de sens opposé, espacées de 1,20 *m*. Cette disposition assure une meilleure distribution des charges à supporter et permet aussi un enfoncement plus profond, par suite de l'éloignement des têtes.

PORTES D'ÉCLUSES

Les écluses maritimes sont pourvues de portes qui, vu leurs dimensions, supportent de fortes pressions. Leur ouverture subite ou leur rupture entraînerait de graves accidents pour les navires amarrés dans les bassins à flot; aussi leur établissement exige-t-il des précautions particulières.

Une *paire de portes* se compose de deux vantaux, un peu plus larges que la demi-largeur l de l'écluse, à cause de la forme du busc. Pour une saillie de $\frac{1}{5}$ la largeur du vantail est $1{,}08\,l$. Sa hauteur est plus ou moins celle de la retenue d'eau.

PORTES EN BOIS

Les vantaux étaient jadis toujours en bois et il en est encore ainsi en France pour les petites écluses. Un vantail est formé d'un cadre comprenant deux pièces verticales, les poteaux *tourillon* et *busqué*, reliés à leurs extrémités par deux *traverses*, avec des *entretoises* horizontales intermédiaires, le tout consolidé par des pièces verticales, *montants* ou *aiguilles*, des *écharpes* obliques et des *tirants*, avec un épais *bordage* à l'amont et parfois un mince à l'aval. Les écharpes sont d'ordinaire au nombre de deux, une sur chaque face du vantail; elles vont du haut du poteau tourillon au bas du poteau busqué.

La porte tourne autour du poteau tourillon, engagé à sa partie supérieure dans un *collier* fixé dans la maçonnerie du chardonnet; le poteau se termine inférieurement par une crapaudine, reposant sur un pivot assujetti dans la bourdonnière. Pivot et crapaudine, en bronze ou acier, ont leurs surfaces de contact soigneusement ajustées, pour éviter l'interposition de sable ou de vase.

Le poteau tourillon n'est soutenu qu'à ses extrémités par le collier et la crapaudine; il est libre sur toute sa hauteur qui dépasse parfois 12 mètres; on ne saurait, en effet, placer des appuis intermédiaires, qui compromettraient l'étanchéité.

On a vu que le poteau-tourillon est excentré par rapport au chardonnet; l'excentricité doit suffire tout juste à empêcher le frottement pendant la rotation et ne dépasse pas 2 centimètres. Voici comment on détermine le centre de rotation du poteau (fig. 85).

Soient O le centre du cercle section droite du chardonnet, BO et AO les axes du vantail fermé et ouvert, et AC = 2 *cm*. On prend aussi OD = 2 *cm*, et sur le milieu de OD on élève une perpendiculaire à AO; le point d'intersection M de cette normale avec la bissectrice OM de l'angle BOD est le centre de rotation du vantail. Il est clair, en effet, que dans la rotation pour l'ouverture effectuée autour du point M, le point O ira en D et le point B en C. Les centres du collier et du pivot seront donc sur la verticale passant par M.

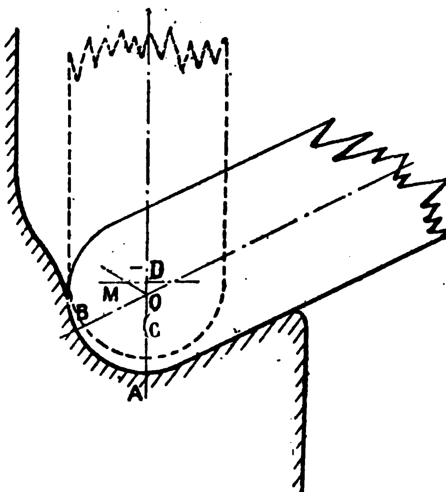


Fig. 83. — Excentrage du poteau tourillon.

Pour une saillie de busc égale à $\frac{1}{5}$, il est aisé de voir que le point M sera à 10 *mm* au delà du point O et à 6 *mm* à gauche de ce point.

Efforts sur les portes. — Les portes sont soumises à des efforts résultant de l'action de la pesanteur et de la différence de pression qui s'exerce sur leurs faces.

Ouvertes, elles n'ont à supporter que leur poids, effort qui s'exerce intégralement sur le poteau tourillon. Ce poids, d'ailleurs diminué de la poussée variable de l'eau, détermine une tendance à l'affaissement que les écharpes sont destinées à prévenir ; si elles ne suffisent pas, on les double ou triple, mais il vaut mieux employer des tirants en fer qu'on peut raccourcir en serrant des écrous ou des clavettes. Pour les portes métalliques, on dispose des cavités étanches qui balancent le poids du vantail ; on a essayé d'appliquer le même système aux portes en bois, mais avec peu de succès. L'étanchéité est difficile à maintenir. En Angleterre, nombre d'ingénieurs reprochent encore le même défaut aux portes métalliques, sans qu'on ait eu à s'en plaindre en France.

Roulette. — Pendant la rotation, les vantaux éprouvent une résistance provenant de l'eau et des frottements subis par le poteau-touril-

lon ; il en résulte sur celui-ci un effort de torsion. On rétablit parfois l'équilibre par l'emploi d'une roulette placée sous le vantail et tournant sur un arc de cercle métallique plat fixé dans le radier de la chambre des portes.

Le moyen serait excellent si la roulette fonctionnait toujours bien ; mais son faible diamètre occasionne un frottement considérable ; la conicité de la jante, nécessitée par son mouvement circulaire, est rapidement détruite par l'usage et les dépôts gênent la rotation.

Si le niveau de l'eau ne changeait pas, il serait possible d'équilibrer le vantail, et les variations d'efforts seraient minimes. En Hollande, où l'amplitude de la marée est faible, on établit cet équilibre pour un niveau moyen et la roulette est supprimée. Comme on lui a reconnu plus d'inconvénients que d'avantages, on y a renoncé également en France, bien qu'on y ait affaire, sur la Manche, à des amplitudes considérables.

Mais en Angleterre son usage est encore presque universel, malgré l'opinion d'ingénieurs très autorisés. On lui donne souvent de grandes dimensions, qui obligent à entailler la traverse inférieure. Le diamètre de celle de Canada Docks à Liverpool atteint un mètre ; on l'a réduit à 40 *cm* aux nouvelles écluses d'Eastham, sur le canal de Manchester, où les vantaux de charpente, presque carrés, ont 13,70 *m* de hauteur.

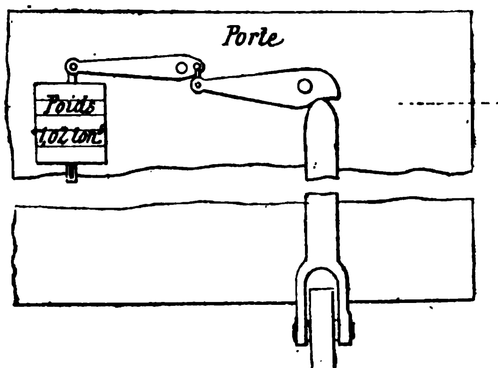


Fig. 84. — Contrepoids de portes.

Il est très difficile de faire porter les roulettes sur leur voie métallique. Il a été constaté à Bristol que des galets auxquels on avait attribué le bon fonctionnement de portes en bois durant de longues années n'avaient jamais en réalité touché la plate-bande. A Dublin, les rouleaux des portes en fer du bassin de radoub étant venus à forcer sur le fond,

on se contenta de redresser le poteau-tourillon, et l'on n'a jamais eu à se plaindre de la suppression de fait des rouleaux qui ne portaient plus sur leur voie.

En France, avant leur abandon, elles n'étaient placées que comme en-cas, à un niveau tel qu'elles ne touchaient le fond que s'il se produisait un affaissement de la porte.

En Angleterre, on a parfois employé le contrepoids (fig. 84) qui semblerait permettre aux roulettes de se soulever si la rotation était trop difficile; le fonctionnement n'en est pas satisfaisant.

Efforts sur les portes. — Les portes fermées ont à supporter la poussée horizontale de l'eau, qui entraîne une réaction mutuelle des vantaux. Ils s'appuient en trois côtés : sur le poteau-tourillon, sur le busc et sur le poteau busqué de l'autre vantail ; par suite deux d'entre eux sont fixes : le poteau-tourillon et le côté inférieur. Au contraire, le poteau busqué et le côté supérieur ne sont retenus que par la réaction mutuelle des deux vantaux.

RÉSISTANCE DES VANTAUX

Chevallier a expérimenté directement les effets produits par des efforts transversaux sur des pièces soumises à des conditions analogues à celles où se trouvent les organes des portes d'écluses. Il en a tiré des conclusions, dont les principales se résument ainsi :

Les entretoises doivent être également espacées. — Il est possible d'assigner la part de pression de chacune d'elles. — Le bordage doit être continu et vertical, ou du moins renforcé par des pièces verticales. — La raideur du bordage influe beaucoup sur la résistance de l'ensemble et sur la répartition des pressions.

L'équidistance des entretoises a l'avantage de reporter une grande partie du poids sur le seuil et laisse une pression moindre à supporter aux entretoises inférieures, les plus exposées aux intempéries et aux chocs contre le busc, les corps étrangers, etc.

Les mêmes résultats ont été démontrés analytiquement par Lavoinne. Cependant, d'expériences de M. Guillemain il résulte qu'il y a surtout intérêt à renforcer le cadre et l'entretoise médiane.

Il existe dans ces questions de nombreux facteurs dont il est difficile de déterminer l'importance relative. Si ces considérations accessoires

n'existaient pas, on serait tenté, puisque les entretoises sont, pour la commodité de la construction, des pièces d'égale section, de les espacer de façon que les tranches qu'elles séparent supportent des pressions égales ; c'est-à-dire que P étant la pression totale sur le vantail et $(m - 1)$ le nombre des entretoises, la pression sur chacune des tranches serait $\frac{P}{m}$.

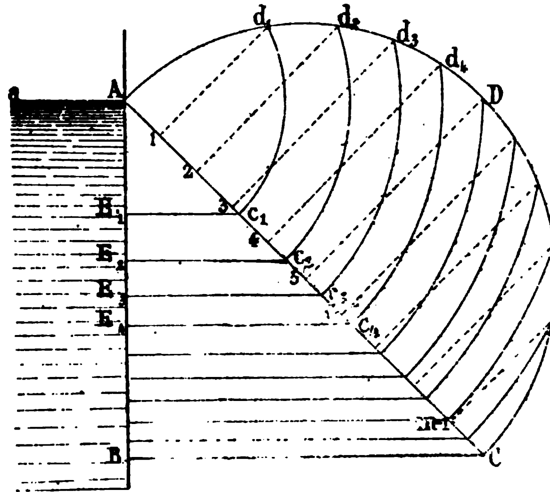


Fig. 85. — Détermination des pressions égales.

B étant le niveau du seuil, A celui de l'eau (fig. 85), d la densité de l'eau de mer, l la largeur du vantail, h' et h' les profondeurs des deux horizontales qui limitent une tranche, celle-ci supporte une pression représentée par

$$dl\,(h - h')\frac{h + h'}{2} = \frac{dl}{2}\,(h^2 - h'^2)$$

Prenant BC = AB, partageant AC en m parties égales et achevant la construction indiquée, on voit que la condition d'égalité de pression sur chacune des tranches limitées par les entretoises E_1, E_2, E_3... est remplie.

La construction revient à prendre le premier intervalle supérieur AE_1 égal à $\frac{H\sqrt{m}}{m}$. Le produit de cette longueur par $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$.... donnera les distances AE_2, AE_3....

S'il y a neuf entretoises, la distance entre la traverse supérieure et

la première entretoise sera $\frac{1}{(\sqrt{10} - \sqrt{9})} = 6{,}11$ fois plus considérable que celle entre la neuvième entretoise et la traverse inférieure.

Calculs des pièces. — Sur un vantail de longueur l, sous la charge H, différence entre les hauteurs d'eau d'amont et d'aval, la pression est égale à

$$\frac{H^2 l d}{2}$$

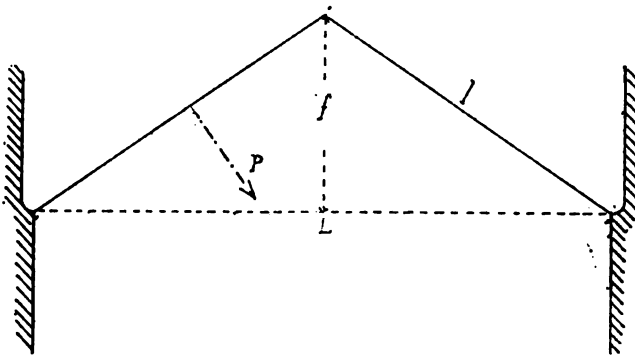


Fig. 86. — Efforts sur les portes d'écluses.

La réaction mutuelle des deux vantaux a une composante dirigée suivant leur direction, c'est-à-dire celle du busc (fig. 86). On trouve facilement son expression

$$\frac{PL}{4f}$$

P résultante des pressions normales sur le vantail;
L, largeur de l'écluse ;
f, saillie du busc.

En posant $f = \frac{1}{n}$ L, la composante est représentée par la formule

$$\frac{nP}{4}$$

Elle est donc égale à P si la saillie du busc est le quart de la largeur et à $\frac{5}{4}$ P si elle est le cinquième.

Voici le résumé pratique des formules de Lavoinne :

Soient

a, demi-largeur d'un vantail ;

b, hauteur du vantail.

n, nombre d'entretoises équidistantes et d'égales dimensions ;

m, moment d'inertie de chacune d'elles ;

s, leur section ;

ν, le nombre des intervalles égaux correspondant aux pièces verticales ;

μ, le moment d'inertie de l'ensemble de ces pièces verticales, pour chaque intervalle ;

E', E", les coefficients d'élasticité de la matière pour les deux systèmes horizontal et vertical ;

α, l'angle du busc avec la normale à l'axe de l'écluse ;

x, la distance à l'axe neutre du point le plus écarté de cet axe pour le système horizontal ;

y, la même distance pour le système horizontal ;

p, le poids du mètre cube d'eau de mer (1026) ;

K_1^4, la variable des tables 2 et 4 (voir plus loin) ;

q', le coefficient donné par la table 2 ;

q", celui donné par la table 4 ;

F', effort maximum par mètre carré qui tend à se développer dans le système horizontal ;

F", même effort pour le système vertical.

On peut résoudre toutes les questions de résistance par les trois formules :

$$K_1^4 = 59{,}5 \frac{E''}{E'} \frac{\nu\mu}{2nm} \frac{a^3}{b^3} \qquad (1)$$

$$F' = \frac{1}{4} q' p \frac{a^2 b^2 x}{nm}\left(1 + \frac{2m \cot \alpha}{sax}\right) \qquad (2)$$

$$F'' = \frac{2q'' p b^2 a y}{\nu\mu} \qquad (3)$$

Pour déterminer les dimensions, on se servira d'abord de la formule (1) ; on y fera $K_1^4 = 3{,}50$, valeur qu'on a reconnue correspondre à la moindre charge des entretoises, en même temps qu'au système vertical le plus faible ; on aura alors dans les tableaux 2 et 4 annexés $q' = 0{,}753$ et $q'' = 0{,}0333$. On calculera alors à l'aide de la formule (2) les dimen-

sions à donner aux entretoises, et l'on vérifiera par la formule (3) si le système vertical, dont les dimensions résultent des deux premières équations, est suffisamment résistant.

S'il ne l'est pas, on fera varier soit les dimensions des pièces des deux systèmes sans faire varier le rapport $\frac{\nu\mu}{nm}$, ni par conséquent la quantité K_1^4, soit ce rapport lui-même en même temps que les dimensions des pièces des deux systèmes, jusqu'à ce qu'on obtienne pour F' et F'' des valeurs convenables, valeurs qui en tout cas ne doivent pas dépasser 80 000 kilogrammes par mètre carré.

L'application des formules aux divers cas de la pratique amène souvent des simplifications. Si la saillie du busc est de $\frac{1}{5}$, autrement dit $\alpha = 21°48'$, on a $\cot\alpha = 2,50$.

Si la porte est homogène comme matériaux, le rapport $\frac{E''}{E'} = 1$ et par conséquent disparaît.

Pour indiquer comment se font les calculs, supposons une porte en charpente dont les entretoises ont la hauteur h et l'épaisseur e, reliées par un bordage vertical d'épaisseur ε présentant $(\nu - 1)$ renforts d'épaisseur η et de largeur l.

On aura :

$$\frac{v\mu}{m} = \frac{(2a - \nu l)\,\varepsilon^3 + \nu n^3}{h l^3}$$

d'où

$$K_1^4 = 59,5\,\frac{E''}{E'}\,\frac{[(2a - \nu l)\,\varepsilon^3 + \nu n^3 l]\,a^3}{2\,n e^3 b^3 h}$$

On se donne, par comparaison avec des ouvrages déjà établis, les diverses dimensions, excepté e, que l'on tirera de l'équation. Ainsi le bordage vertical pour des portes d'une écluse de 15 mètres à peu près, a pour épaisseur $\varepsilon = 0,08$ à $0,20$; on pourra faire $h = 0,50$; $\nu = 4$. $\eta = 0,40$; $l = 0,40$. Tout sera alors déterminé.

Les mêmes formules s'appliquent aux portes mixtes en bois et fer et à celles en métal.

Si nous les appliquons aux portes du bassin Duquesne de Dieppe, dont nous donnons plus loin la description et qui ont été établies par Lavoinne, on trouve $e = 64$ *cm*. En réalité, les entretoises ont une

forme parabolique et au milieu l'épaisseur est 65 *cm*. La suite des calculs est aisée.

Il est rare que les matériaux employés dans la construction des portes soient homogènes ; alors les termes E', E'' entrent dans les formules et il faut connaître ces coefficients d'élasticité, qui offrent de grandes variations suivant non seulement la nature, mais aussi l'état des bois employés ; il en résulte des différences considérables dans les résultats. Au fond, il faudrait déterminer ces coefficients par des expériences directes sur les matériaux dont on dispose ; on devra donc appliquer avec beaucoup de précautions les formules. Pour le métal, les variations sont moins sensibles, et la sécurité est plus grande.

Des études récentes ont établi les résultats suivants :

Le système vertical est plus simple et plus économique que l'horizontal, quand la largeur de la porte est plus grande que sa hauteur au moins dans le rapport de 1,2 à 1. On adopte encore ce système jusqu'à l'égalité de ces dimensions ; mais si la hauteur excède la largeur, le système des entretoises horizontales reprend l'avantage. Elles doivent être en petit nombre.

Extrait de la table n° 2, donnant seulement les valeurs maxima du coefficient q' avec la position des entretoises les plus fatiguées dans le cas de dix entretoises égales et équidistantes :

Valeurs de $K_1 4$	Coefficients q' maxima	Position de l'entretoise correspondant à q' maxima
0,05	1,363	2e au-dessus du busc
0,10	1,319	3e » »
0,50	1,116	» »
0,90	0,988	» »
1,00	0,972	4e » »
1,50	0,893	» »
2,00	0,835	» »
2,40	0,802	» »
2,60	0,788	5e » »
3,00	0,771	» »
3,50	0,753	» »
4,00	0,739	» »
4,20	0,737	6e » »
5,00	0,732	» »
5,50	0,737	7e » »
6,00	0,750	9e » »
10,00	0,850	» »
15,00	0,907	» »

Extrait de la table n° 4, donnant les maxima du coefficient q" pour le calcul des pièces du système vertical.

Valeurs de K_1^1	Coefficients q'' maxima	Point le plus fatigué des pièces verticales
0,10	0,0092	Au droit de la 2e entretoise au-dessus du busc
0,40	0,0149	» de la 3e » »
0,80	0,0193	» »
1,00	0,0214	» »
2,00	0,0283	» »
3,00	0,0320	» »
3,50	0,0333	» »
4,00	0,0344	» »
5,00	0,0359	» »
6,00	0,0370	» »
10,00	0,0393	» »
15,00	0,0404	» »

Calculs des ingénieurs anglais. — En Angleterre, la théorie des efforts supportés par les portes d'écluses a été abordée par Barlow, Kingsburg, Browne et M. Fettiplace Blandy, qui a traité la question par les procédés graphiques.

En général les ingénieurs anglais, comme dans la plupart de leurs études, procèdent plutôt par comparaison avec les ouvrages similaires existants.

On emploie aussi, pour les portes cylindriques qui sont très usitées, la formule

$$S = pr$$

S effort supporté par la section droite de la porte, p pression maxima de l'eau par unité de surface, et r rayon de la porte, formule déduite de l'uniformité de la pression en tout point d'une section droite. On exprime ensuite que la résistance de la section doit être au moins égale à cet effort.

Ainsi, pour une retenue d'eau de 13,50 m et un rayon de 18 mètres, on a

$$S = pr = 13{,}50 \times 1026 \times 18 = 250 \text{ tonnes.}$$

La résistance du bois est d'environ 450 kilogrammes par centimètre carré ; pour plus de sécurité, on adopte la moitié de ce nombre ou environ 200 kilogrammes par centimètre carré d'épaisseur. Sur un mètre de hauteur, la résistance par centimètre d'épaisseur sera de 20 000 kilogrammes ou 20 tonnes. L'épaisseur e en centimètres doit donc être

au minimum $20\ e = 250$ ou $e = \frac{250}{20} = 12,5$. On prend un coefficient de sécurité d'au moins 6 %, ce qui donne 75 *cm* d'épaisseur.

Ce sont là des calculs très approximatifs, comme on le voit; et leur emploi ne donne pas une garantie suffisante pour qu'on n'ait pas tout autant de sécurité à procéder par comparaison avec des portes existantes dans de bonnes conditions.

DIVERS ORGANES DES PORTES

Collier (fig. 87 à 89). — Le collier est en acier ou en fer forgé, avec des coussinets de même métal ou de bronze. Il comprend une partie fixée dans le chardonnet et une partie mobile qui se ferme à charnière après la mise en place du poteau tourillon. La partie noyée dans la maçonnerie se compose de barres de fer écartées en V; l'une d'elles est dans le prolongement du vantail fermé, l'autre plus ou moins dans celui du vantail ouvert, mais assez éloignée des parois de la maçonnerie pour assurer la solidité. Souvent on bifurque chacune des deux branches ou l'on en met une troisième dans le milieu.

L'extrémité des barres est percée d'un œil où passe un fer vertical de 2 à 3 mètres de longueur, qui assure encore la fixité de l'ensemble. Le collier est d'ordinaire réuni aux ferrures fixes par des clavettes que l'on peut forcer pour établir la verticalité.

Les figures 87 indiquent les dispositions de l'écluse de Freycinet; la figure 88 celles de l'écluse de Cardiff. La fig. 89 montre encore une autre forme de collier.

Crapaudine et pivot (fig. 90 à 92). — L'attache de la crapaudine sous le poteau-tourillon demande de grands soins; creusée légèrement conique, elle repose sur la tête du pivot par l'intermédiaire d'un disque en métal plus tendre que les autres pièces et qui par suite s'use davantage; c'est donc lui qui a besoin d'être remplacé; on le fait aisément en soulevant la porte. Le pivot est fixé au plomb dans la bourdonnière, sa base inférieure est polygonale, afin d'empêcher tout mouvement de rotation. La tête est assez large pour que les pressions y soient très réduites et que l'usure soit faible. Avant la mise en place de la porte, on remplit la crapaudine de suif.

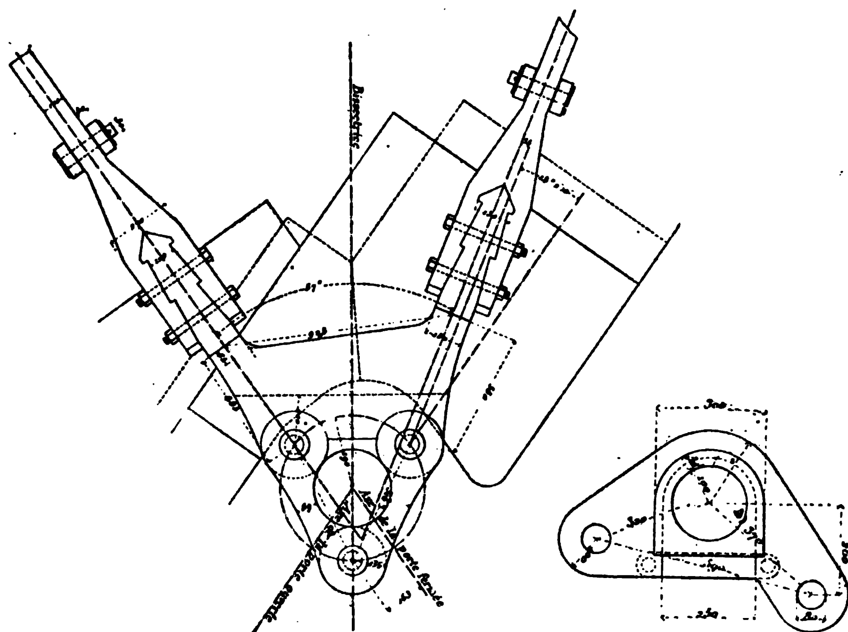


Fig. 87. — Ecluse Freycinet. — Collier.

Plan du collier.

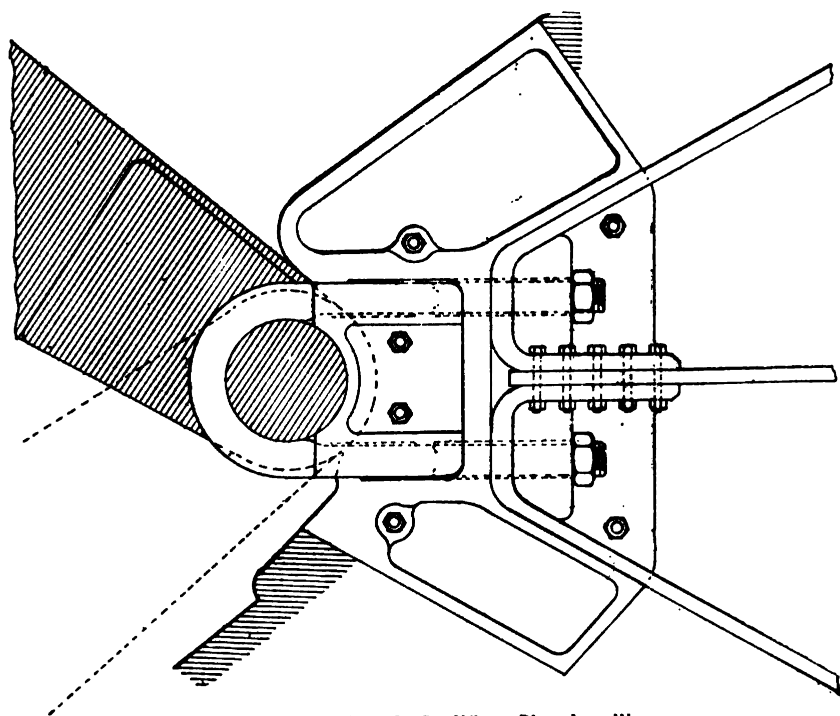


Fig. 88. — Ecluse de Cardiff. — Plan du collier.

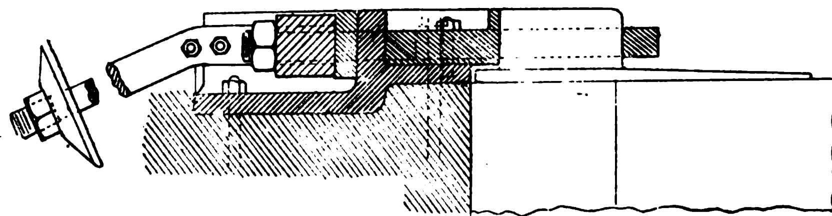


Fig. 88. — Collier de Cardiff. — Coupe verticale.

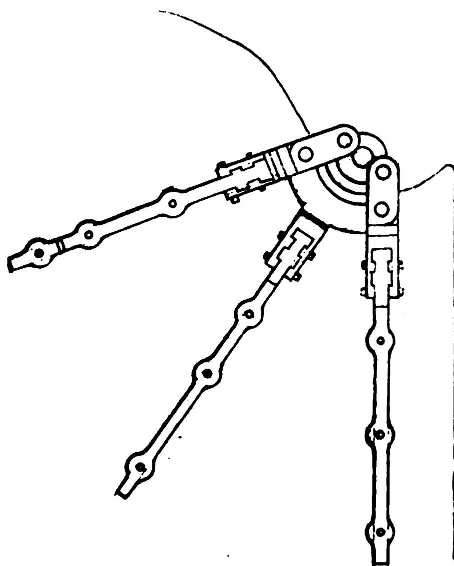


Fig. 89. — Autre disposition, Collier.

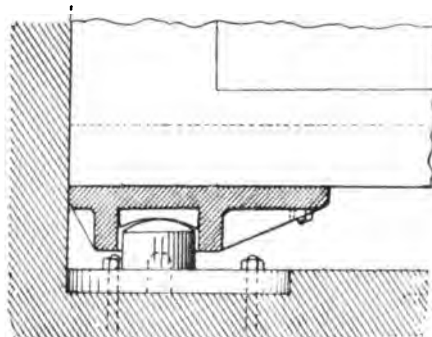
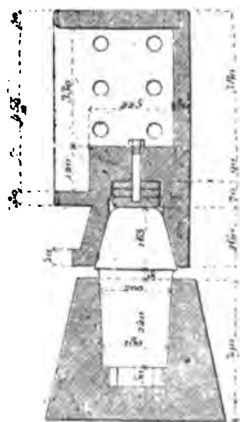


Fig. 88. — Coupe du pivot de Cardiff, Pivot inférieur.



Coupe de la crapaudine.

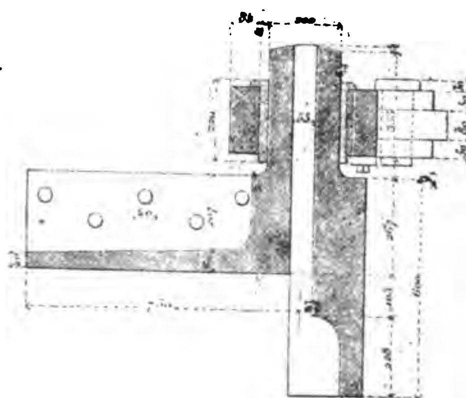


Fig. 90. — Ecluse Freycinet. Détails des tourillons.

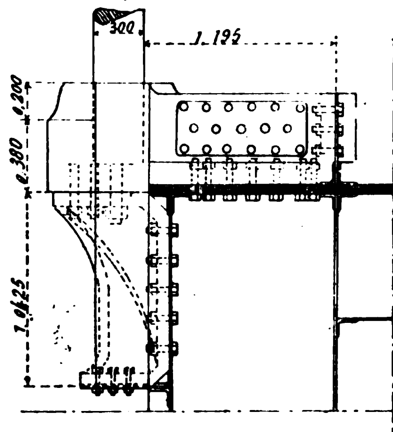


Fig. 91. — Elévation.

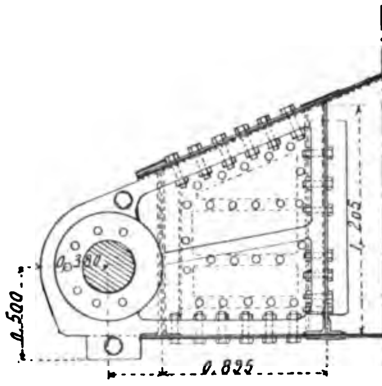


Fig. 91. — Tourillon supérieur.

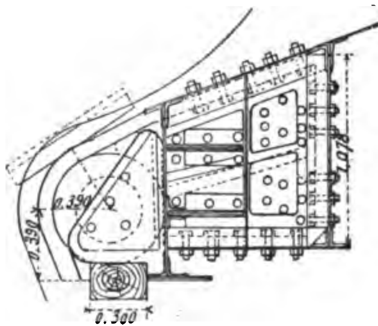
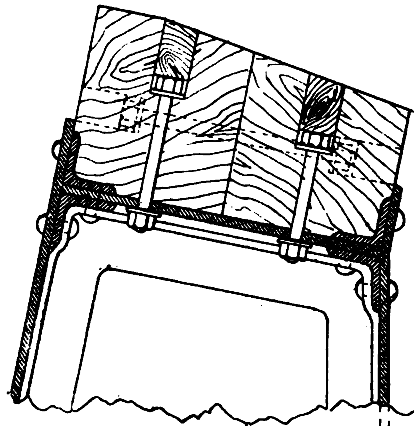


Fig. 91. — Bassin Bellot.
Plan du tourillon supérieur.



Poteau busqué.

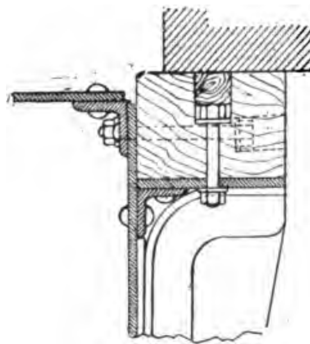
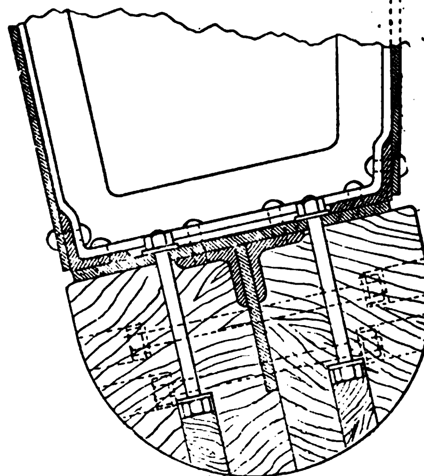


Fig. 93. — Cardiff.



Poteau tourillon.

Ventelles (fig. 94). — Les portes d'écluses se manœuvrent parfois à d'autres moments qu'à la haute mer; il importe, pour diminuer la résistance, d'équilibrer les niveaux d'amont et d'aval, soit du bassin au sas, soit du sas à l'avant-port, les portes d'ebbe dans le premier cas, de flot dans le second, étant fermées.

Fig. 94. — Vanne des portes de l'écluse de Belfort — Plan.

On y parvient en écoulant l'eau à l'aval par des aqueducs ménagés dans les bajoyers, ou par des vannes ou ventelles qui s'ouvrent dans les portes mêmes. Ces vannes sont manœuvrées par pignon et crémaillère, ou par l'eau comprimée.

Portes-valets (fig. 95). — Les portes d'aval sont exposées à de violents efforts pendant les tempêtes ; on les maintient par divers procédés, parmi lesquels le seul usité en France est la porte-valet.

C'est une petite porte d'écluse réduite à l'ossature: poteaux-tourillon et busqué, traverses, montants, ferrures d'attache et de contreventement, sans bordage, et qui s'arc-boute contre la porte fermée.

Le poteau busqué est rectangulaire ; il bute sur la porte par l'inter-

médiaire de coins en bois découpés suivant un arc de cercle, afin d'éviter le glissement. Le contact a lieu vers le milieu de la largeur du

Fig. 94. — Coupe.

Fig. 94. — Vanne des aqueducs du Bassin Bellot. Élévation.

vantail, un peu plus près du poteau-tourillon, ce qui soulage le chardonnet.

En Angleterre on a employé des béquilles pour appuyer les vantaux;

leur manœuvre exige un personnel nombreux. A Douvres, on ferme par un verrou horizontal passant dans deux anneaux rivés à la même hauteur sur chaque vantail. Avec deux verrous situés l'un au sommet de la porte, l'autre deux mètres plus bas, on soutient l'effort de lames d'un mètre de hauteur.

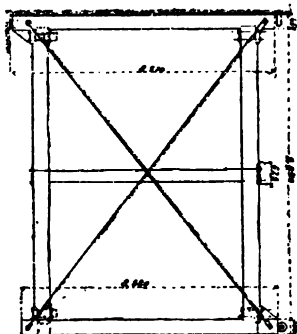


Fig. 95.— Ecluses des Transatlantiques Porte-valet.

Au Havre, on se sert de ressorts Belleville.

Manœuvre des portes d'écluses. — Les portes doivent s'ouvrir vite, bien s'effacer dans les enclaves, fermer fortement et se visiter aisément.

Les écluses sont proportionnées à la contenance des bassins pour éviter les courants. Malgré tout, il s'en développe toujours, et le halage des navires devient difficile. Les cabestans hydrauliques, toujours très utiles, le deviennent encore plus à ce moment, parce qu'il faut développer rapidement une grande force. Ils ont l'avantage de se placer sous le sol, recouverts de plaques métalliques et de laisser libre le couronnement pour les manœuvres.

Dans les petites, la manœuvre se fait avec des treuils à main; pour les plus grandes, on emploie un moteur.

En général deux chaînes fixées sur la face d'amont servent à l'ouverture ; deux autres, à l'aval, à la fermeture. Ces dernières sont croisées : la chaîne de gauche ferme la porte de droite et réciproquement. Elles sont attachées à mi-hauteur du vantail et près du poteau busqué, afin d'augmenter le bras de levier et de diminuer l'effort de manœuvre. Elles passent sur une poulie de renvoi scellée dans les bajoyers et remontent sur le couronnement où sont les treuils. La poulie de la chaîne d'ouverture est nécessairement située au point où vient se loger dans l'enclave le point d'attache au vantail. Pour la chaîne de fermeture, la place de la poulie n'est pas déterminée ; elle est assez éloignée pour faciliter la manœuvre.

Quand les portes sont ouvertes, la chaîne d'aval tombe sur le radier afin de permettre le passage des navires ; il en résulte un double inconvénient. La saillie de la chaîne diminue la hauteur disponible vers la grille ; pour fermer, il faut ramasser toute la longueur *affalée*. La disposition ci-dessus décrite et généralement adoptée exige l'effort simul-

tané de quatre hommes au moins, un à chaque treuil, d'où résulte dans l'opération un fâcheux défaut de concordance.

Le système suivant, plus avantageux, est employé à Liverpool, à Bombay, au canal de Manchester (fig. 96).

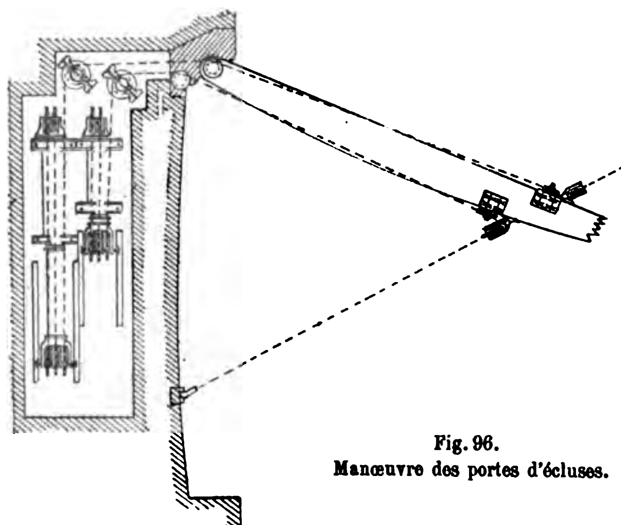


Fig. 96.
Manœuvre des portes d'écluses.

La chaîne d'amont est fixée non au vantail, mais au bajoyer ; elle passe sur une poulie de renvoi scellée au point correspondant de la porte, puis à une autre placée sur le couronnement du bajoyer devant le chardonnet et qui la retourne au treuil. La chaîne d'aval est attachée au bajoyer de l'autre rive, au point où se trouve la poulie de renvoi dans le système précédent; elle va à une poulie fixée à l'aval du vantail et, passant derrière le tourillon, s'enroule sur le treuil placé à côté du premier. Les deux treuils d'une rive peuvent ainsi être conduits par la même machine ; il en résulte plus de concordance dans les manœuvres.

A Anvers, aux écluses des bassins autres que le Kattendijk, la manœuvre des portes se fait comme pour les écluses des canaux intérieurs, au moyen d'une barre à crémaillère fixée au poteau busqué de la porte et manœuvrée par un arbre vertical surmonté d'une couronne dont la jante est creusée de trous carrés dans lesquels entrent des leviers mus à bras. La couronne peut également être actionnée par des appareils hydrauliques.

L'ouverture des portes de l'écluse de Penzance, Cornwall, est modérée par une installation spéciale (fig. 97). Derrière chaque porte, une

épontille, faisant l'office de valet, est articulée à l'une de ses extrémités avec le vantail, et à l'autre avec un piston qui glisse dans un long cylindre. Le piston n'est pas étanche, de sorte que l'eau peut entrer et sortir, mais avec difficulté, autour de sa circonférence.

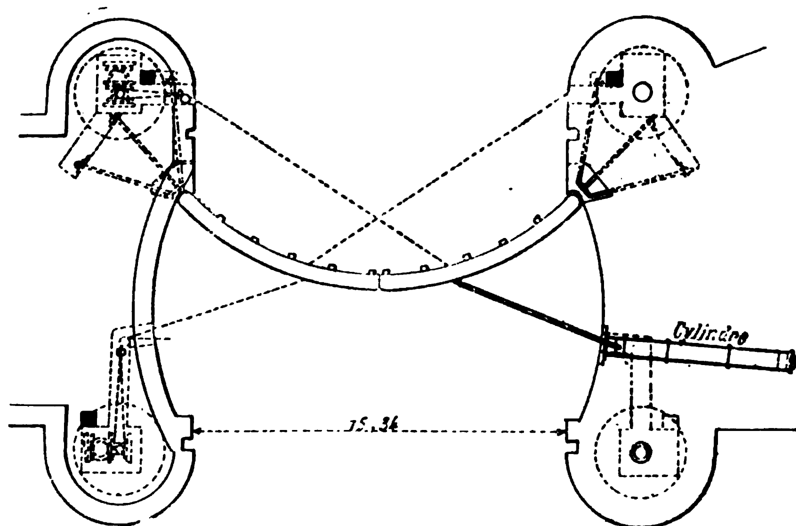


Fig. 97. — Penzance. — Portes d'écluses.

La manœuvre hydraulique et électrique des portes d'écluses sera décrite au chapitre spécial.

PORTES FRANÇAISES

Portes en charpente. — *Bassin Duquesne, Dieppe.* — **La largeur de l'écluse est de 16,50 *m*; le vantail a 9,31 *m* de largeur sur 8,25 *m* de hauteur; les hautes mers d'équinoxes le dépassent de 30 *cm*.**

Le vantail, de section parabolique, est formé d'un cadre en chêne dont les poteaux sont reliés par deux traverses et huit entretoises pareilles en sapin, laissant entre elles neuf vides égaux de 45 *cm* de hauteur. Chaque entretoise, trop grande pour être formée d'une seule pièce, est constituée par deux pièces longitudinales de 40 *cm* de hauteur, assemblées à redans et reliées par des boulons. Cette pièce jumelée est rectiligne à l'aval, courbe à l'amont; épaisse au milieu de 65 *cm*, elle se raccorde aux extrémités avec les poteaux.

La liaison est complétée par trois montants verticaux équidistants, composés de deux pièces formant moises, ayant toutes deux 40 *cm* de

hauteur. Celle d'amont est épaisse de 30 *cm*, l'autre de 15 *cm*; elles sont entaillées de 5 *cm* au droit de chaque entretoise.

Une double écharpe, accrochée aux oreilles du chapeau en bronze qui coiffe le tourillon, le relie au pied du poteau busqué. Des ferrures établissent la liaison entre les diverses pièces. Le bordage d'amont est en chêne de 8 *cm* d'épaisseur.

Bassin de Saint-Nazaire. — Les portes en bois de l'écluse de 25 mètres ont été plus tard reconstruites en métal; elles offraient un type intéressant où l'on avait supprimé les poteaux tourillon et busqué; à ce titre nous les décrivons : le vantail avait 13,96 *m* de largeur, 10 mètres de hauteur, une épaisseur de 1,60 *m* au milieu et de 60 *cm* aux poteaux. La face d'aval était plane, celle d'amont en arc de cercle.

On y comptait 16 entretoises en poutres armées formées d'un entrait de 40 *cm* et de quatre pièces courbées à l'étuve, épaisses de 20 *cm*. Les deux courbes intérieures butaient contre l'entrait sur des plaques de tôle à cornières; les deux autres se prolongeaient jusqu'aux extrémités de l'entrait; le tout était réuni par des étriers et des boulons.

Treize entretoises de 37 *cm* d'épaisseur étaient superposées à la partie inférieure sur 4,81 *m* de hauteur. Les trois autres, épaisses de 40 *cm*, étaient espacées de 95 *cm*, 90 *cm* et 2 mètres et maintenues écartées par des montants. Toutes étaient reliées à leurs extrémités par des tôles. Le bordage était double ; celui d'amont en madriers verticaux de 86 *mm*, celui d'aval en tôle de 5 *mm*.

Quinze clefs verticales, battues à la sonnette après la pose des entretoises supérieures, complétaient la charpente, toute composée de pièces ordinaires.

Ces exemples suffisent à indiquer le mode de construction des portes en bois, qui tendent à disparaître en France, sauf pour les petites écluses où leur établissement est facile.

On a aussi employé quelques portes mixtes, en bois et fer où le bois prédominait; aujourd'hui, c'est le contraire.

Portes métalliques. — Construites en France pour la première fois à Boulogne en 1867. Leur avantage est qu'on peut régler leur poids non seulement d'une façon générale, mais encore à chaque instant de la marée, ce qui diminue les efforts sur le poteau tourillon.

Pour diminuer le poids, on dispose dans leur épaisseur une chambre étanche assez vaste pour que pleine d'air elle fasse flotter le vantail.

Au moment de la pose on injecte dans une autre chambre un volume d'eau suffisant pour qu'à haute mer son poids n'excède que de peu celui de l'eau qu'elle déplace.

L'effort sur le tourillon est donc minime, mais il augmente quand le niveau de la mer baisse d'un côté.

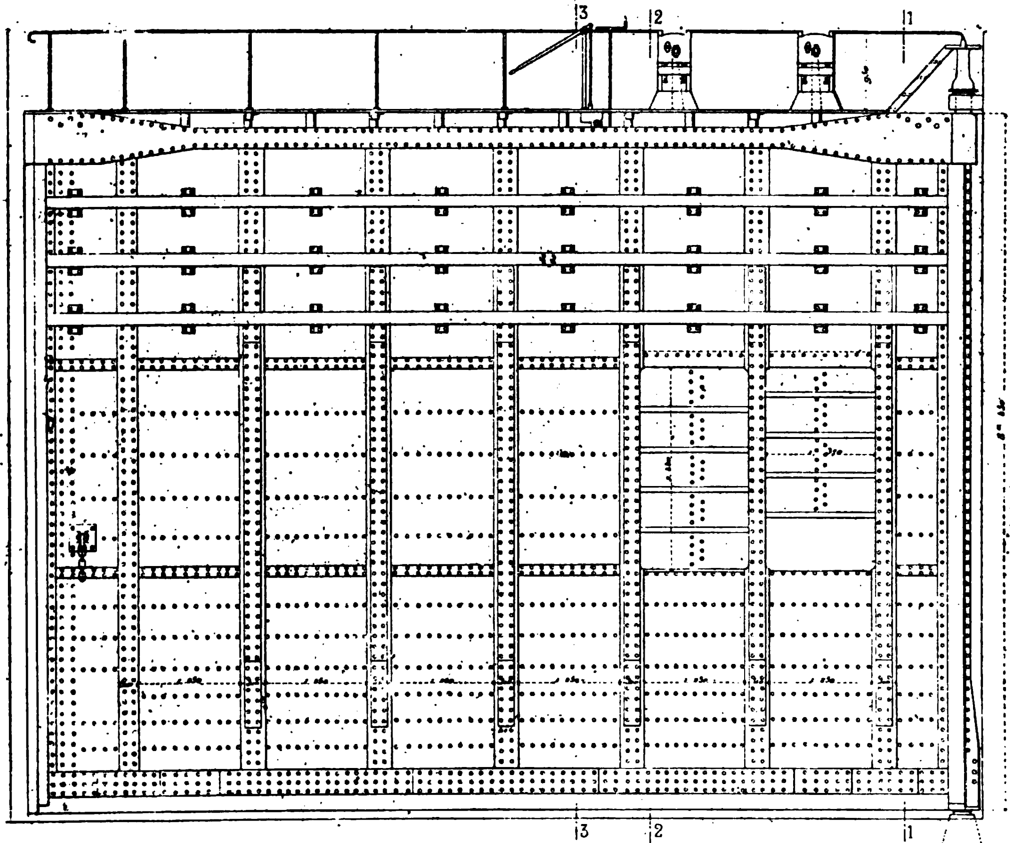


Fig. 98. — Portes de l'écluse Freycinet. — Elévation d'aval de la porte d'ebbe.

Dans les petites portes, la différence n'est pas assez grande pour compromettre la solidité. Il n'en est pas de même dans les grandes portes comme celles des Transatlantiques au Havre. Alors on rend l'équilibre constant par l'aménagement, toujours dans l'épaisseur du vantail, d'une troisième chambre qui se remplit et se vide avec la marée, par des ouvertures pratiquées dans le bordage d'aval. La porte se leste et se déleste donc automatiquement.

Les portes en fer se construisent avec les matériaux de dimensions commerciales, pour éviter les augmentations de prix :

Ecluse Freycinet, *Dunkerque* (fig. 98). — Elle a 21 mètres de largeur. Les dimensions d'un vantail sont : largeur, 11,59 *m*; hauteur, 8,45 *m*.

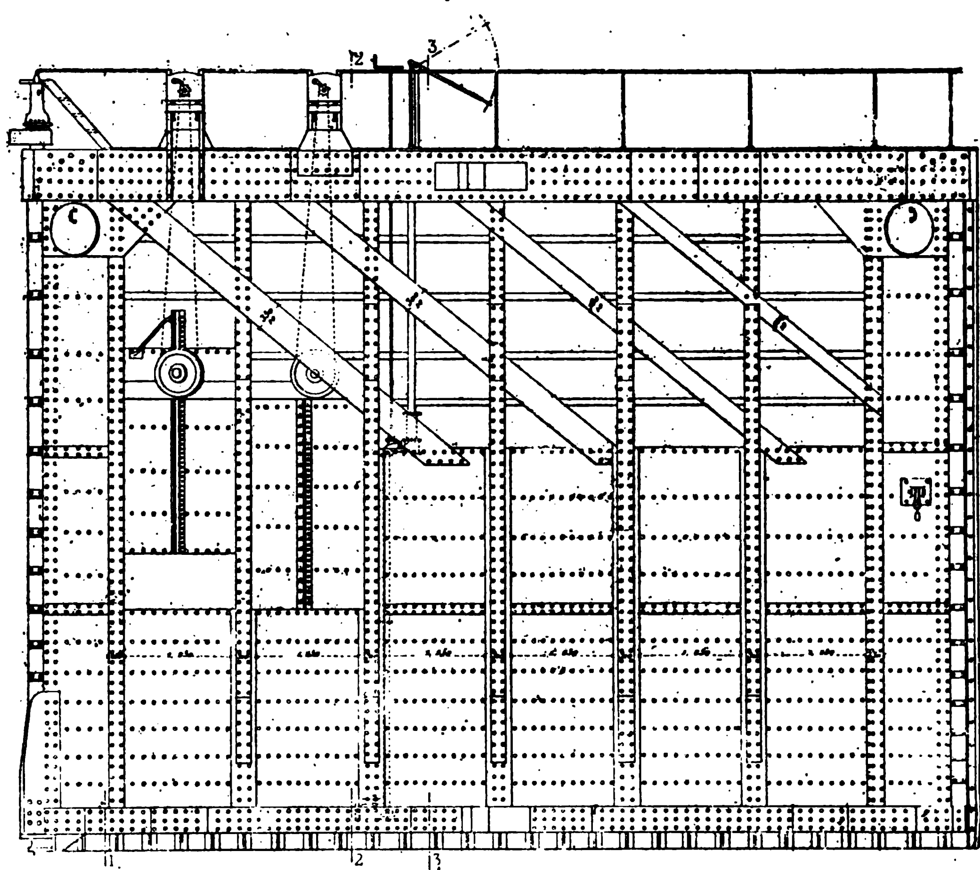


Fig. 98. — Portes de l'écluse Freycinet. — Elévation d'amont de la porte d'ebbe.

L'ossature comprend :

Le cadre formé par les poteaux et traverses ;

Cinq montants verticaux partageant en six espaces égaux la distance entre les poteaux ;

Quinze membrures horizontales qui raidissent le bordage entre les montants et les poteaux;

Quatre écharpes de contreventement.

L'épaisseur au centre est de 1,10 *m*.

Un bordage en tôle couvre la face d'aval, sauf deux ouvertures de

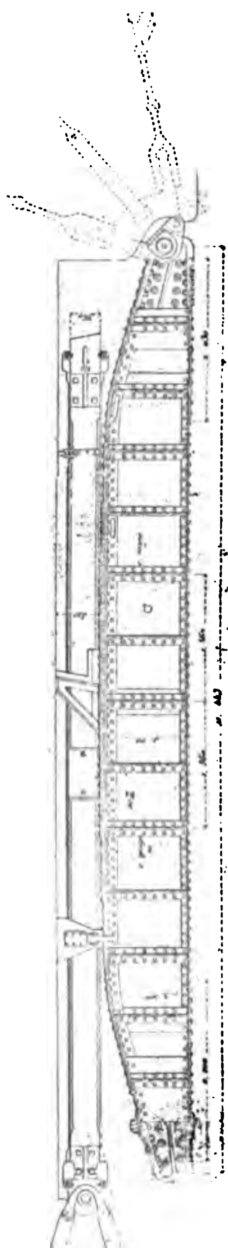


Fig 98. — Ecluse Freycinet. — Plan de la porte d'ebbe et de la porte-valet.

1,37 × 2,53 *m* correspondant aux ventelles et placées au-dessus des basses mers de vive eau.

Entre le poteau busqué et le second montant à partir du poteau tourillon est la chambre à air, de 4,46 *m* de hauteur. La chambre à eau est entre le même montant et le poteau tourillon; elle a 2,52 *m* de hauteur. Ces chambres sont fermées en amont par un bordage qui s'arrête pour la première à la onzième membrure horizontale et pour la seconde au seuil des ventelles.

Une pompe sert à vider au besoin la chambre à air et à régler le niveau dans la chambre à eau.

Le vantail pèse 49 tonnes.

Les dispositions adoptées ont pour but: 1° de rapprocher vers le tourillon, par la position relative des deux chambres, la résultante des poids et des sous-pressions, ce qui diminue les efforts sur le collier ; 2° de reporter sur le seuil une grande partie de la pression, par la suppression des entretoises et la prédominance des éléments verticaux ; 3° de réduire à 6 kilogrammes au plus par millimètre carré la pression sur le vantail, avec la différence maxima des niveaux de l'eau sur les deux parois, cette pression limite ne se produisant qu'au point de rencontre des deux traverses supérieures.

Ecluse des Transatlantiques, au Havre (fig. 99).—Le vantail a 17,54 *m* de largeur sur 10,90 *m* de hauteur. L'ossature est analogue à celle de Dunkerque; il y a neuf montants verticaux.

Deux cloisons horizontales partagent la hauteur en trois parties;

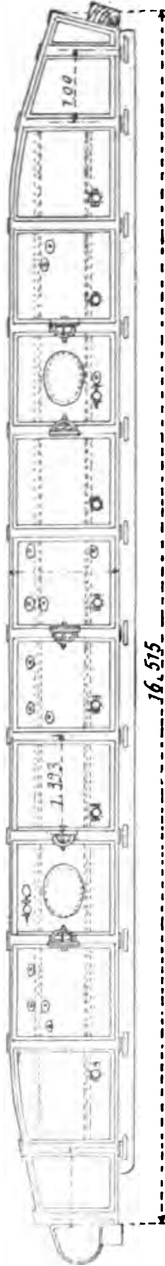
l'inférieure constitue la chambre à eau étanche, l'intermédiaire la chambre à air et la supérieure la chambre où l'eau entre librement.

Fig. 99. — Portes de l'écluse des Transatlantiques.

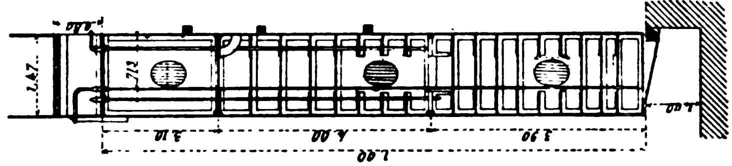
Le poids d'un vantail est de 155 tonnes et il déplace 255 tonnes d'eau. A haute mer il est donc soumis à une sous-pression de 100 tonnes. Pour le maintenir, on injecte par un pulsomètre une partie de ce poids en eau dans la chambre inférieure; le reste est constitué par le lest-mobile du compartiment supérieur; on proportionne les capacités en conséquence.

Ecluse Bellot (fig. 100). — Ces écluses ont 30 mètres de largeur et leurs portes sont analogues à celles de l'écluse des Transatlantiques. Chaque vantail a 16,515 *m* de largeur et 10,96 *m* de hauteur. Il comprend, en dehors du cadre, neuf montants verticaux distants de 1,393 *m* et des membrures horizontales inégalement espacées, destinées au raidissement des bordés. Les chambres à eau étanches sont comprises entre la poutre inférieure et la première entretoise, le poteau tourillon

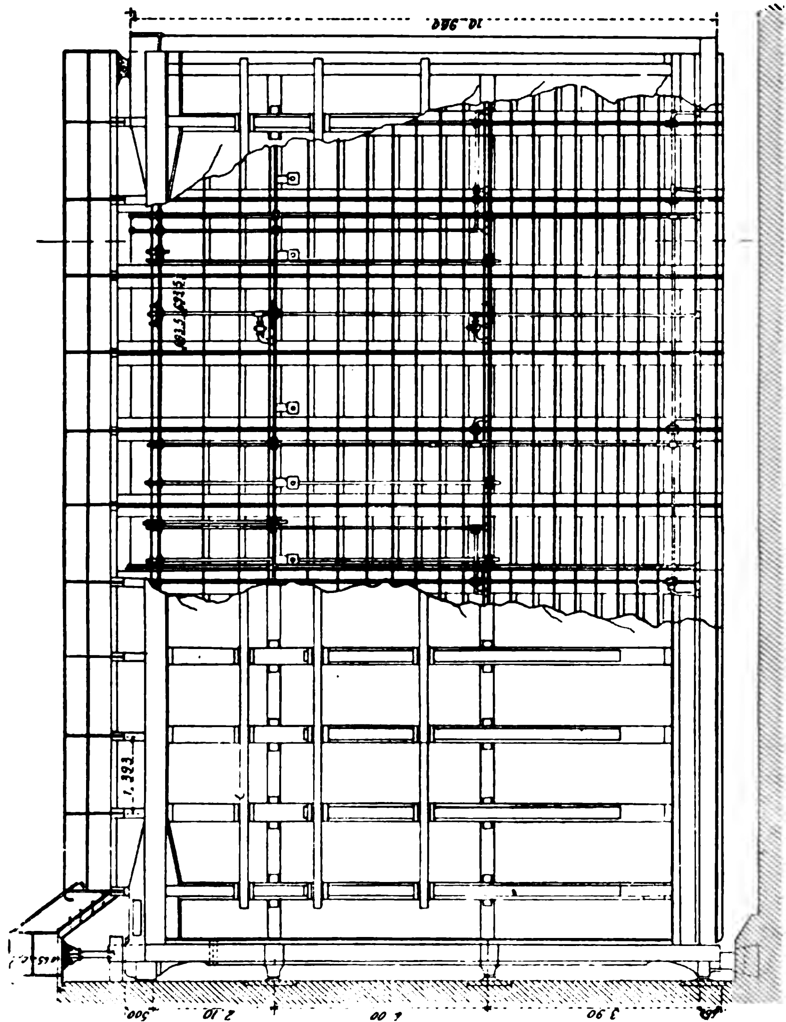
et le septième poteau, à compter de celui-ci. La chambre à air est formée au-dessous de la deuxième entretoise, par tout l'espace qui ne constitue pas la chambre à eau.



Plan-coupe au-dessus du premier diaphragme.



Coupe



Elévation.

Fig. 100. — Portes de l'écluse du Bassin Bellot.

Les compartiments inférieurs sont en communication avec l'eau du bassin.

Chaque vantail, du poids de 155 tonnes, ne pèse réellement sur ses attaches que de 20 à 25 tonnes. Deux cheminées donnent accès aux divers compartiments.

Le poteau tourillon ne porte pas sur toute sa hauteur contre les maçonneries; des sabots en acier coulé, ménagés aux abouts des pièces horizontales du cadre, reportent sur les maçonneries la pression du vantail, et deux autres sabots intermédiaires assurent la direction du poteau tourillon. L'étanchéité entre le vantail et la maçonnerie est obtenue par une fourrure de bois posée à plat contre la porte et qui forme le contact avec le chardonnet.

La crapaudine mâle scellée dans le radier, en acier forgé, a 360 *mm* de diamètre; elle fait saillie de 48 *cm* sur la bourdonnière qui est à 34 *cm* au-dessus du bas radier; cette disposition maintient le bas de la porte à 55 *cm* au-dessus du radier.

La crapaudine femelle, aussi en acier forgé, a 300 *mm* de diamètre et pèse 2 850 kilogrammes.

Ces portes se trouvent entre deux bassins; on ne peut donc vider à basse mer les compartiments supérieurs; on a recours à l'air comprimé pour chasser l'eau.

Saint-Malo. — La largeur du vantail, 10,50 *m*, est presque égale à sa hauteur 10,23 *m*; aussi le système horizontal est-il plus développé: il comprend 10 entretoises intermédiaires, tandis que l'armature verticale ne compte que trois pièces principales situées à deux, cinq et huit mètres du poteau tourillon. Elles sont séparées par six files de cadres intermédiaires verticaux.

Ecluse Trystram, Dunkerque. — Le vantail a 14×14×12,05 *m* et est appuyé par des portes valets, il n'y a pas de portes de flot.

Le cadre comprend : une traverse supérieure, une inférieure, un poteau tourillon et un poteau busqué, tous deux tubulaires, sept poteaux verticaux également espacés, deux entretoises reliant les montants et formant cloisons étanches, enfin un bordage général en tôle sur les deux faces, soutenu par des membranes horizontales fixées sur les montants. La chambre à air est médiane, les chambres à eau latérales. La totalité de la pression de l'eau se répartit entre le busc et la

traverse supérieure en acier, calculée pour résister à un effort de 474 tonnes.

Chaque vantail est muni de deux vannes mesurant ensemble 6 mètres carrés. Il pèse 153 tonnes.

La manœuvre s'opère par deux presses hydrauliques actionnées par un seul tiroir; les moufles sont à six brins pour l'ouverture et à huit pour la fermeture. Les vantaux d'aval sont munis de freins hydrauliques installés sur les bajoyers et qui les empêchent de s'ouvrir brusquement.

Écluse entre les deux bassins de Saint-Nazaire. — La section du vantail est plan convexe, forme se rapprochant autant que possible de la section d'égale résistance; les dimensions sont : largeur : 13,697 *m*; hauteur : 10,203 *m*, et en plan :

Épaisseur aux extrémités	0,600 *m*
— au milieu.	1,263 —
Rayon de la flèche courbe.	24,050 —

Il n'y a que douze entretoises, également espacées d'axe en axe de 897 *mm*, et cinq poteaux montants : un au milieu, deux à chaque quart de la largeur, les deux autres à 66 centimètres des extrémités.

Les entretoises comprennent une âme de 15 millimètres dont le double T est formé d'une bande de 335 × 15 *mm*, un bordé de 10 *mm* et des cornières de $\frac{110 \times 160}{16,5}$ *mm*.

Les montants ont une disposition analogue; toutefois la poutre n'est pas continue, mais composée de tronçons rectangulaires successifs, rivés les uns aux autres, dans le même plan vertical, avec interposition des âmes des entretoises rencontrées; en outre, les deux semelles de la poutre ne sont pas parallèles; enfin, l'âme est percée d'évidements elliptiques dans chacun des intervalles qui séparent deux entretoises successives, pour permettre de circuler d'un bout à l'autre de l'entretoise et d'aller ainsi gratter et peindre tout l'intérieur du vantail.

Le bordé est continu et règne sur tout le pourtour de l'ossature. Il est formé de feuilles de tôle de 10 millimètres d'épaisseur couvrant exactement chacune un des espaces rectangulaires et découpé par les entretoises et les montants. Cinq files verticales de cadres en cornières

de $\frac{60 \times 60}{9}$ *mm*, régulièrement espacées entre deux montants successifs, servent d'appuis intermédiaires aux feuilles du bordé.

Chaque vantail pèse 140 tonnes ; il est divisé en deux compartiments étanches par la quatrième entretoise à partir du bas. Le supérieur sert de caisse à lest pour l'eau qui y entre librement par des orifices ménagés dans le bordé en amont et en aval. L'inférieur est la caisse à air ; des cheminées étanches, débouchant sur la passerelle et munies d'échelles en fer, permettent d'y accéder à travers le compartiment supérieur.

Par le jeu du lest, avec une variation de niveau de l'eau dans le bassin atteignant 1,45 *m* suivant les marées, le poids du vantail se maintient entre 10 et 22 tonnes.

On a cru devoir poser sous le vantail deux roulettes, qui peuvent être remontées à volonté, étant portées sur un cadre manœuvré par un vérin fixé sur la deuxième entretoise du haut.

Bordeaux (fig. 101). — Les portes d'ebbe de l'écluse de Bordeaux sont remarquables par leur forme circulaire, modèle unique, croyons-nous, en France. Les deux faces sont des arcs de cercle dont les rayons sont de 22,45 *m* en amont et 28,05 *m* en aval.

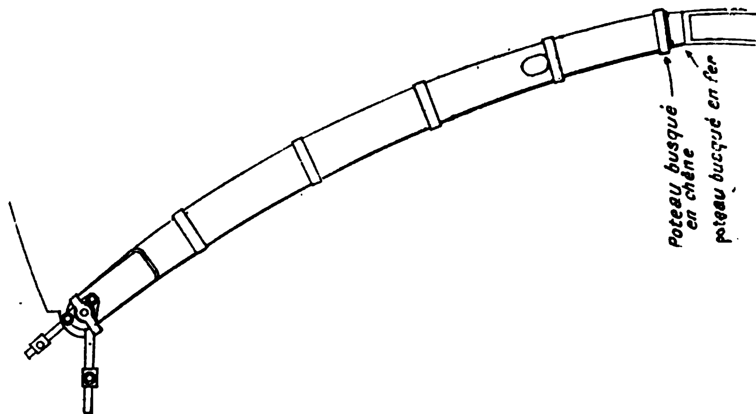


Fig. 101. — Portos d'obbe do l'écluso do Bordoaux.

Les dimensions d'un vantail sont :

Hauteur : 9 mètres, largeur : 12,58 *m* ; épaisseur au milieu : 8 *cm* et aux extrémités : 60 *cm*.

Il se compose de dix entretoises horizontales espacées de 1 mètre, formées d'âmes en tôle de 1 *cm* d'épaisseur, fixées au bordage par des cornières rivées.

Le poteau tourillon est formé d'une poutre en tôle de 1 *cm* et d'une pièce demi-cylindrique de 60 *cm* de diamètre en chêne, assujetties ensemble et aux entretoises par des cornières. Il est terminé par une douille fixée par une armature en acier fondu et qui repose sur le pivot scellé à la bourdonnière par une semelle.

Le tourillon qui s'engage dans le collier a 26 *cm* de diamètre ; il est porté par une semelle boulonnée sur le vantail et le poteau.

Le poteau busqué est en tôle dans un vantail, en chêne dans l'autre qui a 61 × 25 *cm*.

Il y a quatre montants et le bordage est en tôle.

Le heurtoir qui appuie sur le seuil est en chêne de 250 × 175 *mm*. Il y a une roulette en bronze de 40 *cm* de diamètre roulant sur un rail en bronze.

Les portes de flot sont analogues à celles d'ebbe, mais la partie inférieure seule est pleine sur 5 mètres, les 4 mètres supérieurs sont vides; seulement ils peuvent être, s'il est nécessaire, fermés par six vannes de 2 mètres de largeur sur 4,35 *m* de hauteur, qui manœuvrent entre cinq montants.

Il n'est pas nécessaire, en effet, contre la houle, que les portes de flot soient complètement fermées ; à claire-voie elles suffiraient pour briser la vague ; mais il est bon qu'elles puissent se fermer à l'occasion, pour étancher le sas à leur abri, en cas de réparation des portes d'ebbe.

PORTES ANGLAISES

En Angleterre, la forme des portes en bois n'est pas la même qu'en France. Ici l'organe essentiel est l'entretoise horizontale, qui donne des vantaux presque droits, faciles à soutenir par des écharpes, à construire, à faire entrer dans les enclaves. Mais cette construction exige de fortes pièces, difficiles à rencontrer, et l'on a dû recourir aux procédés que nous avons signalés.

La nécessité des fortes pièces est due à la poussée considérablement augmentée de la réaction du deuxième vantail. Des portes qui, fermées, figureraient un arc de cercle éprouveraient moins cette réaction, elles seraient donc économiques.

Mais la forme cylindrique serait difficile à réaliser. Les Anglais s'en rapprochent par l'emploi des portes à section polygonale, dites portes

segmentales ou à voussoirs. Le vantail se compose de deux ou plusieurs panneaux verticaux, raccordés à angles très obtus et dont la face d'amont est courbe.

Cette disposition a l'avantage d'admettre des pièces de moindres dimensions ; l'étanchéité est mieux assurée au poteau busqué, mais leur construction et celle du busc exigent plus de soins ; l'enclave est plus profonde.

On remédie en partie à ces inconvénients par la forme gothique (Cardiff, Penarth), dans laquelle la face d'aval est plane ce qui diminue la profondeur des enclaves, les buscs sont droits ; le bas des portes est alors muni d'une pièce spéciale, droite aussi, qui s'appuie contre les buscs.

Avonmouth (fig. 102). — Comme type de portes anglaises on peut citer celles du dock d'Avonmouth, où l'écluse a 21 mètres de largeur.

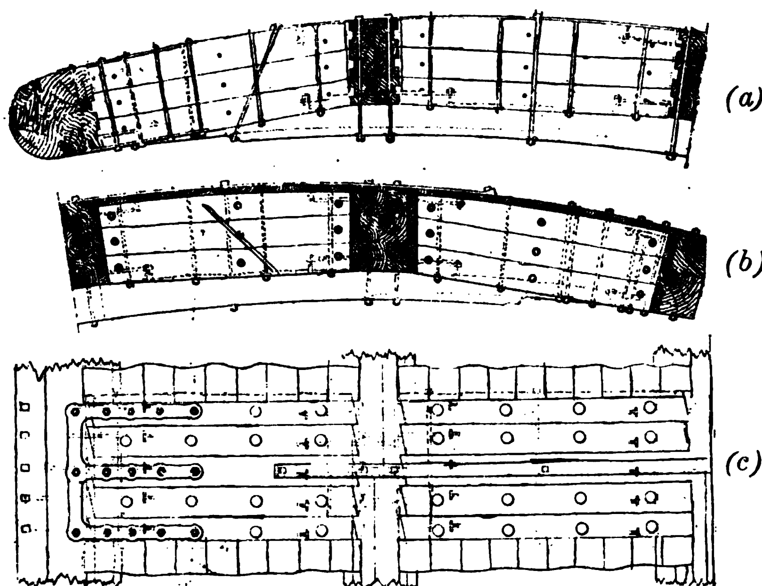


Fig. 102. — Portes d'Avonmouth.
(*a*) et (*b*) sont les prolongements l'une de l'autre. Plan. — (*c*) Elévation.

Fermées, leur face d'amont figure un arc de cercle dont le rayon est de 15 mètres. Elles ont 81 *cm* d'épaisseur aux extrémités et 89 *cm* au centre, sans compter le bordage. Dans ces conditions, si la face d'aval était concentrique à celle d'amont, il faudrait découper les entretoises

dans des pièces énormes; même si, comme on l'a fait, on composait l'entretoise de trois pièces jumelées, le découpage entraînerait encore une perte de bois considérable.

Pour remédier à cet inconvénient, les entretoises sont formées de quatre panneaux ou voussoirs, encadrés entre les deux poteaux tourillon et busqué d'une part et trois montants verticaux qui occupent toute la hauteur. Les voussoirs sont composés de trois pièces dont celle d'amont seule a la face extérieure cylindrique; toutes les autres faces sont droites et n'occasionnent aucune perte. Comme cette disposition donne un contour intérieur brisé, on adapte à la partie inférieure des portes une pièce découpée suivant un arc de cercle de 18 mètres de rayon, qui fait joint contre le seuil.

Le poteau tourillon est composé lui-même de quatre pièces, le poteau busqué de deux et les montants de six, dont les figures indiquent le mode de liaison; tout l'ensemble est réuni par des ferrures, des tenons, des boulons et le bordage.

Ces portes, absolument semblables à celles qu'on emploie à Liverpool, sont munies de roulettes.

Comme bois, les poteaux et montants sont en chêne; les entretoises et le bordage en pin de Memel. Il y a trois paires de portes; dans les extérieures, qui sont les plus exposées, le chêne a été remplacé par du greenheart.

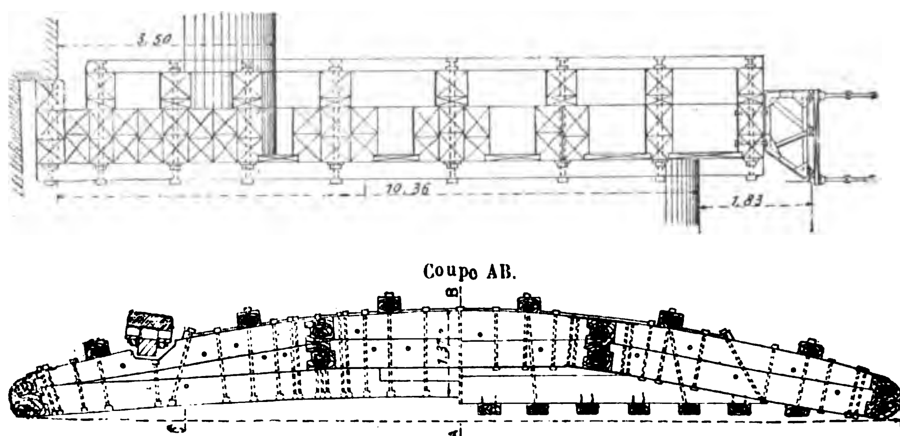


Fig. 103. — Alexandra dock de Hull. Portes de l'écluse.

Les figures 103 représentent les portes de l'écluse de l'Alexandra dock de Hull, un bon type de portes segmentales en greenheart, construites en trois panneaux.

Ecluse d'Eastham, canal de Manchester. — Le canal de Manchester débouche dans la Mersey, à Eastham, par trois écluses ; la plus grande a 24,4 *m* de largeur. Ses portes sont en greenheart ; chaque vantail pèse 250 tonnes, dont 230 de bois et 20 de métal ; elles ont 1,50 d'épaisseur au centre; leur longueur est de 14 mètres et leur hauteur est à peu près égale.

Dans chaque vantail, il y a des séries d'entretoises superposées par blocs jointifs. A la base, douze forment une hauteur de 4,90 *m*. Puis viennent :

Un bloc de 3 entretoises	formant une hauteur de	1,14 *m*
3	—	1,00 —
2	—	0,76 —
2	—	0,61 —
1	—	0,40 —
1	—	0,38 —

Les poteaux tourillons sont formés de deux pièces jumelées.

De chaque côté existent deux écharpes d'acier, larges de 20 *cm* et épaisses de 37 *mm*, se croisant en diagonale. L'ensemble est fortement lié par des tirants, des boulons, etc.; les colliers et crapaudines sont en acier. Deux roulettes jumelles sont fixées à chaque vantail.

Canada Docks, Liverpool. — La largeur de l'écluse est de 30,50 *m*.

Chaque vantail est formé de quatre panneaux ayant à peu près la même largeur, c'est à-dire qu'entre les poteaux tourillon et busqué se trouvent trois poteaux intermédiaires, sensiblement équidistants. La hauteur totale d'un vantail est de 10,85 *m*; mais à la partie supérieure existe une travée sans bordages qui réduit à 9,03 *m* la partie opposée à l'eau.

Le bordé n'existe qu'à l'amont; il a 75 *mm* d'épaisseur.

Six cours d'entretoises horizontales, inégalement espacées et de dimensions variables, réunissent les poteaux entre eux. Ils sont formés, l'inférieur de 12 pièces, le second et le troisième de 6, le quatrième et le cinquième de 4 et le supérieur d'une seule. Les hauteurs successives sont :

2,267   1,330   0,870   0,700   0,80   0,33 *m*

et les vides entre les entretoises ont :

0,433 0,583 0,927 1,340 1,490 *m*

La dernière dimension ne comporte pas de bordé.

Les entretoises sont renforcées à l'aval par un entrait d'une seule longueur appliqué contre la face polygonale du vantail, jusque dans le voisinage des poteaux extrêmes. L'épaisseur horizontale de ces entraits est de 380 *mm* au milieu ; leur hauteur est de 550 *mm* pour les deux premières et 450 *mm* pour les autres ; la dernière n'a que 330 *mm*.

Le poteau tourillon, de 11,35 *m* de hauteur a 710 *mm* de diamètre ; le poteau busqué a une section carrée de 520 *mm* de côté.

PORTES GOTHIQUES

Whitehaven. — Ici l'écluse n'a que 15 mètres de largeur; aussi les organes sont-ils plus simples. Les entretoises sont formées de deux pièces juxtaposées et boulonnées ensemble, réunies à tenons et mortaises avec les poteaux. La face d'amont est courbe, l'autre droite. La hauteur des entretoises est de 30 *cm*; leur épaisseur va en diminuant depuis 66 *cm* au milieu jusqu'à 42 *cm* aux extrémités; le bordage a 75 *mm* d'épaisseur.

Des portes pareilles ont été établies à Ardrossan, pour une écluse de 18 mètres de largeur.

PORTES MIXTES

Dans les portes les plus récemment construites en Angleterre, on trouve une combinaison du bois et du fer. Les poteaux tourillon et busqué sont en greenheart; l'ossature se compose de fers cornières formant montants et entretoises, celles-ci toujours plus rapprochées à la partie inférieure; le bordage est en tôle.

Tilbury. — A Tilbury, chaque vantail a 15 mètres de longueur; il pèse 165 tonnes pour les portes médianes et extérieures, 147 tonnes dans les portes extérieures. L'arc de cercle extérieur a un rayon de 42,70 *m* et l'intérieur de 16,50 *m*. La hauteur est de 12,45 *m*, l'épaisseur au centre est de 1,83 *m*. Les portes sont divisées verticalement en quatre compartiments étanches. Elles sont lestées avec de l'eau de

Fig. 103 — Porte circulaire du bassin du radoub de South Shields.

Fig. 105.
Bas de la porte.

Fig. 105.
Coupe de la porte
de
South Shields.

façon à être presque en équilibre sur leur pivot et la roulette à haute mer.

Barry. — Toujours sur le même type sont les portes des docks de Barry, dont les écluses simples ont une largeur de 24,40 m, la saillie du busc étant de $\frac{1}{4}$. La hauteur du vantail est de 14,90 m au poteau busqué et de 12,85 m au poteau tourillon. Il est divisé en

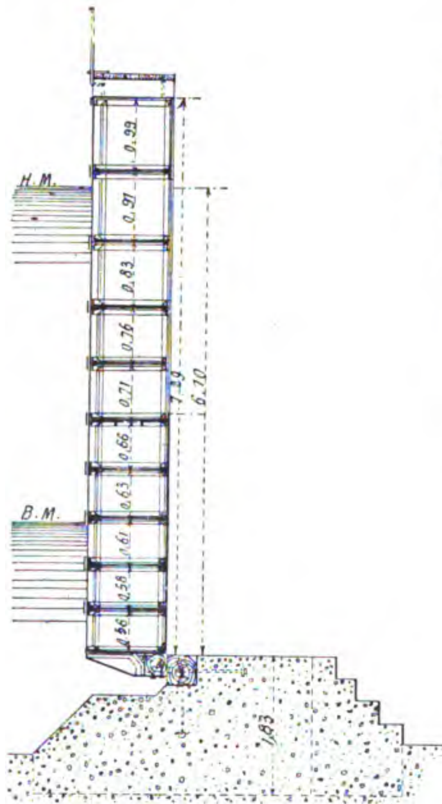


Fig. 106. — Coupe de la porte gothique.

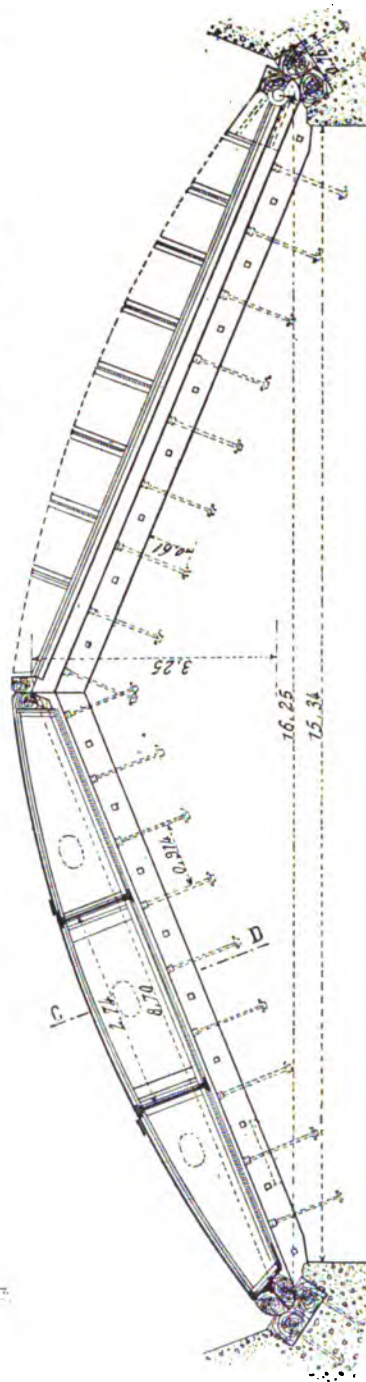


Fig. 106. — Type de la porte gothique anglaise.

quinze compartiments étanches. Il y a 12 cloisons horizontales (ponts), dont cinq sont étanches, les autres séparations sont verticales.

La longueur du vantail est de 14,64 *m* et son épaisseur au milieu de 2,44 *m*. Au-dessous du cinquième pont à partir du sommet sont les chambres à air, qui équilibrent presque le vantail. Au-dessus, l'intérieur communique avec l'aval; une cheminée donne accès à la caisse à air.

Les poteaux sont en greenheart. Il entre dans un vantail 186 tonnes de fer forgé, 22 tonnes de fonte et acier et 40 mètres cubes de bois.

On a aussi employé à Bristol et à Londres des portes en fer forgé avec toute l'ossature en fonte, mais on y a renoncé. Les figures 105 et 106 représentent deux types assez rares.

PORTES ALLEMANDES

Ecluses du Canal de l'Empereur Guillaume, à Brunsbüttel. — Dans ces portes, les chambres à air occupent l'angle inférieur près du poteau busqué. Les faces sont planes au centre, arrondies au poteau tourillon, arrondies et coupées obliquement au poteau busqué.

Il y a quatre portes de flot et des portes d'ebbe.

Les portes de flot comprennent, outre les deux traverses, huit entretoises, espacées de 1,52 *m*, ce qui donne une hauteur de 13,68 *m*; mais de petits montants élèvent à 3,10 *m* au-dessus le bordage d'amont, pour contenir les plus hautes eaux, dont le niveau arrive à un mètre plus bas. La hauteur totale est de 16,70 *m*, tout compris.

Dans la partie centrale, les montants sont en fer en Z espacés de 56 *cm*, renforcés de goussets et de cornières près du poteau busqué.

Le puits de la pompe (1,285 $\times$ 1,12 *m*) qui descend jusqu'au fond, forme un compartiment étanche et communique de chaque côté avec les neuf chambres horizontales par des trous d'homme et des robinets à trois eaux. Il y est installé un éjecteur, qui maintient tous les compartiments secs. Les robinets peuvent au besoin les remplir de l'eau extérieure, et les faire vider séparément. Le fond de la chambre inférieure est recouvert de béton incliné vers le puits pour y ramener l'eau. La chambre à air monte jusqu'à la quatrième entretoise.

Les portes d'ebbe sont construites suivant le système vertical; il y a huit montants entre les poteaux, ce qui donne neuf compartiments de 1,45 *m* de largeur, subdivisés par des séparations horizontales. L'une

de celles-ci, un peu au-dessous du milieu, est recouverte de béton, dans le même but que pour les portes de flot. Celle du haut est construite de façon à supporter à elle seule toute la pression latérale.

La communication avec l'eau intérieure n'est pas faite par des robinets, mais par des vannettes.

Comparaison des portes en charpente et en métal.

Au contraire de ce que l'on pouvait croire, c'est en France qu'on a adopté presque exclusivement les portes métalliques, et en Angleterre les portes en bois. Les mêmes raisons données de ce côté du détroit en faveur du métal sont invoquées de l'autre côté pour la charpente. Il est vrai qu'avec les portes courbes anglaises l'emploi du bois est plus facile.

En France, on préfère les portes métalliques comme plus légères grâce aux chambres à air, plus rigides, plus faciles à manœuvrer ; leur visite, même à l'intérieur est aisée avec des trous d'homme et des cheminées d'accès. La charge est constante sur le pivot, leur durée est plus grande et elles résistent mieux au choc des navires. Par la comparaison de portes d'écluses semblables établies à Dunkerque, l'une en charpente, l'autre métallique, on a trouvé que les prix étaient les mêmes, si le fer est galvanisé ; s'il est simplement peint, la porte en fer coûte $\frac{1}{5}$ de moins que celle en bois.

En Angleterre, on regarde les prix comme équivalents ; mais on assure que le bois dure davantage, est moins endommagé par les chocs, s'adapte mieux au busc.

Cependant, il existe des portes métalliques même en Angleterre.

Au canal de la mer Baltique, elles ont été exclusivement employées.

Mise en place des portes. — Les portes sont généralement mises en place au moyen de *caps de levage*, sortes de chèvres installées sur le bord de la maçonnerie. Les détails en diffèrent beaucoup selon les conditions.

PORTES A UN VANTAIL

Ces portes ont été imaginées par Bellot pour le canal de Tancarville ; elles sont constituées par un bateau-porte tournant autour d'une de ses extrémités munie d'un tourillon. Les plus grandes ont 18,75 *m* de lon-

gueur sur 9,85 *m* de hauteur. Leur largeur maxima est de 4,04 *m*. Elles flottent, grâce à une chambre à air inférieure, quelle que soit la

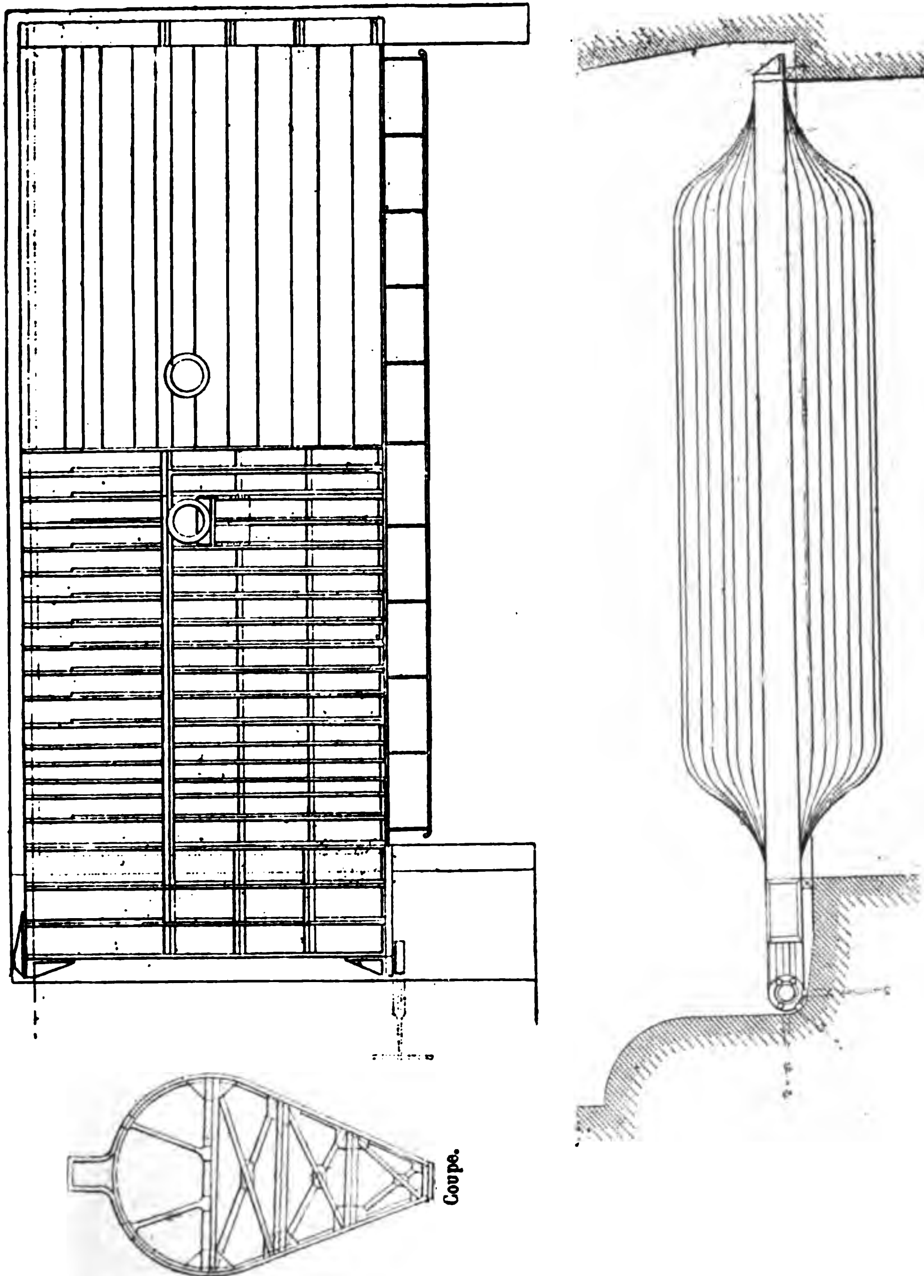


Fig. 107. — Plan et élévation

hauteur à laquelle l'eau s'élève au-dessus de son niveau minimum, qui est celui des basses mers de vive eau (fig. 107).

Le poteau tourillon est formé par un caisson rectangulaire de 2,25 *m* de longueur et 70 *cm* de largeur. Des fourrures en bois assurent l'étanchéité du contact.

L'eau pénètre dans la chambre supérieure par des aqueducs en fonte munis de vannes toujours ouvertes, sauf au cas où l'on veut déplacer les portes pour les réparer et où on les ferme à marée basse ; alors le flot soulève le vantail. Des trous d'homme avec cheminées en tôle permettent la visite de la chambre à air.

Non seulement ces portes flottent à tout niveau de l'eau, mais leur équilibre est toujours stable, ce qui exige que le métacentre reste au-dessus du centre de gravité.

Or, la hauteur du métacentre au-dessus du centre de poussée est le quotient du moment d'inertie minimum de la section horizontale de la porte, faite au niveau du pont étanche, par le volume du flotteur. Dans le cas des portes de Tancarville, on a $\frac{I}{V} = \frac{66,61}{98} = 68$ *cm* à 20 *cm* au-dessus du centre de gravité.

La forme du bateau-porte, très large au niveau du pont étanche, a permis d'augmenter le volume de la partie inférieure et de diminuer non seulement celui de la partie superposée, mais aussi le poids des fers qui le composent, le pont étanche supportant avec le busc toute la charge d'eau.

Au-dessous du pont on a placé un fort lest, qui abaisse le centre de gravité. La manœuvre des portes se fait par des machines hydrauliques.

Les avantages de ce système sont :

Economie dans les maçonneries, car point n'est besoin de surépaisseur aux bajoyers au droit des chardonnets.

Remplacement des chardonnets courbes par des feuillures planes.

Exécution plus facile ; étanchéité mieux assurée ; manœuvre plus simple ; résistance plus certaine contre les accidents.

PORTES DU CANAL DE TANCARVILLE

Outre les grandes portes qui ont remplacé les anciennes fermetures en bois de l'écluse des Transatlantiques, on en a adopté au Havre à

l'entrée du canal de Tancarville, qui sont construites d'après des principes différents du système préconisé par Lavonine.

Aussi les décrirons-nous à part, avec leurs calculs.

Chaque vantail long de 9,125, est pourvu d'une entretoise horizontale unique, placée à sa partie supérieure et destinée à supporter, concurremment avec le busc en maçonnerie, toute la charge d'eau que subit le vantail. Cette charge lui est transmise par trois poutres verticales espacées de 2,45 *m* d'axe en axe et qui s'appuient à la partie supérieure sur elle et à la partie inférieure sur le busc. Ces poutres verticales sont reliées par des pièces horizontales sur lesquelles s'appuient des membres verticaux espacés de 49 *cm* d'axe en axe. Le bordé, formé de feuilles de tôle assemblées à clins, est riveté sur ces membres.

Les chambres à air sont comprises entre la poutre verticale centrale et ses deux voisines ; les deux autres compartiments sont les chambres à eau.

La porte est assez épaisse pour qu'on puisse y pénétrer par des cheminées pour la visite intérieure.

Les diverses pièces sont composées comme suit :

Entretoise supérieure. — Une âme de 10 millimètres assemblée par quatre cornières de $\frac{100 \times 100}{10}$, avec des semelles de 400 millimètres de largeur.

Poutres verticales : Une âme de 10 millimètres et quatre cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$.

Pièces horizontales en fer en U : une âme de 10 et deux cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$.

Membrures verticales en forme de Z : deux cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$ assemblées par une âme de 130 millimètres de largeur et 10 millimètres d'épaisseur.

Bordé. — L'épaisseur varie de bas en haut de 10 à 6 millimètres. Deux panneaux consécutifs sont reliés par un couvre-joint de 210 millimètres de largeur et 10 millimètres d'épaisseur, riveté sur les cornières des poutres verticales. L'étanchéité est obtenue par le matage ; là où il était impossible, comme aux assemblages des pièces horizontales

avec les verticales, on a employé des feuilles d'amiante ou du papier enduit de blanc de zinc.

Toutes les pièces sont galvanisées.

Calcul. — Le calcul des portes du Havre a été exécuté comme suit (fig. 108).

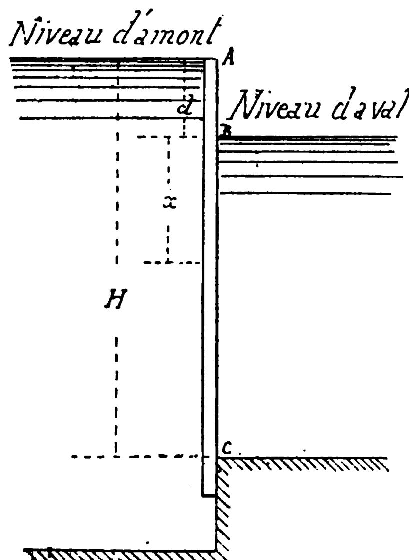


Fig. 108. — Calcul des portes d'écluses du Havre.

A étant l'entretoise supérieure, soient :

$AC = H \quad BC = h \quad AB = d$

l largeur de la porte ;
δ densité de l'eau de mer.

Effort supporté par l'entretoise A. — La pression en amont est :

$$\frac{H^2 l\delta}{2}$$

Elle s'exerce au tiers de la hauteur de la porte à partir du busc. Donc l'entretoise A supporte

$$\frac{H^3 l\delta}{6}$$

Comme elle reçoit une contre-pression égale à

$$\frac{h^3 l\delta}{6H}$$

sa charge réelle est la différence

$$\frac{l\delta(H^3 - h^3)}{6H}$$

et par mètre courant :

$$p = \frac{\delta(H^3 - h^3)}{6H}$$

Le moment fléchissant maximum s'exerce au milieu de la pièce et a pour expression :

$$M = \frac{\delta l^2}{48} \frac{H^3 - h^3}{H}$$

Poutres verticales. — Supposons que chaque poutre supporte la pression qui s'exerce sur une bande verticale de largeur a ; le moment fléchissant en un point D, situé à une distance x du point B, a pour valeur le moment de la réaction de l'appui A, augmenté du moment de la contre-pression B D, le tout diminué du moment de la pression A D, c'est-à-dire :

$$M = \frac{a\delta}{6}\,\frac{H^3 - h^3}{H}(d + x) + \frac{a\delta x^3}{6} - \frac{a\delta}{6}(x + d)^3$$

$$M = \frac{a\delta}{6}\left[\frac{H^3 - h^3}{H}(d + x) - 3\,dx^2 - 3d^2x - d^3\right]$$

Le maximum de M s'obtient en égalant à 0 la dérivée par rapport à x.

$$\frac{H^3 - h^3}{H} - 6dx - 3d^2 = 0$$

d'où

$$x = \frac{1}{6d}\left(\frac{H^3 - h^3}{H} - 3d^2\right)$$

Les deux vantaux se transmettent mutuellement une compression longitudinale F représentée, on l'a vu, (page 133) par

$$F = \frac{PL}{4f}$$

Avec ces formules, on peut calculer toutes les pièces.

Calcul des portes d'écluses de Tancarville. — C étant le pont étanche (fig. 109).

La pression sur la partie A C est

$$P = \frac{\delta l (H^2 - h^2)}{2}$$

sur toute la partie A D elle est

$$P' = \delta l \frac{[(H + a)^2 - (h + a^2)]}{2}$$

La différence, qui représente la pression sur C D est $\frac{2\,a\,(H - h)}{2}$.

Or $H - h = d$; la pression sur c D est donc représentée par la

constante $H\,a\,d$, et peut par conséquent être décomposée en deux forces égales, appliquées en C et D.

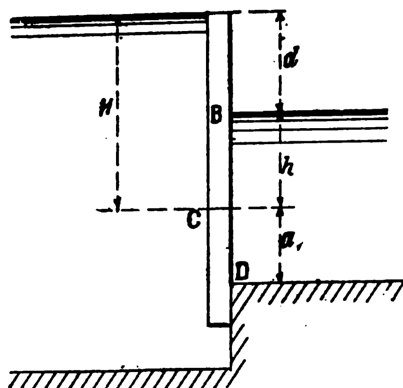


Fig. 109. — Calcul des portes de Tancarville.

En C s'exerce donc une force totale exprimée par

$$\delta l \frac{(H^2 - h^2)}{2} + \frac{\delta l a (H - h)}{2} = \frac{\delta l (H + h + a)(H - h)}{2}$$

La charge par mètre courant du pont étanche est par suite

$$p = \frac{\delta (H + h + a)\ (H - h)}{2}$$

A C peut être considéré comme une poutre verticale encastrée en C supportant toute la pression de l'eau au-dessus du pont étanche. Le moment fléchissant en C est égal à la somme des moments des forces appliquées en A C et qui se réduisent à deux, savoir :

La résultante des pressions sur A B $\frac{\delta l d^2}{2}$ et celle sur B C $\frac{\delta l d h}{2}$ (cette expression résulte de ce qui a été dit ci-dessus).

La première est appliquée au tiers de A B à partir de B ; l'autre au milieu de B C.

Donc le moment fléchissant M en C est

$$M = \frac{1}{2}\left[\delta l d^2 \left(\frac{d}{3} + h\right) + \delta l d^2\right] = \frac{\delta l}{6}\left(H^3 - h^3\right)$$

La porte étant divisée dans sa largeur en quatre parties égales par

trois poutres équidistantes entre elles et des extrémités, chacune a pour moment fléchissant

$$\frac{M}{4} = \frac{\delta l}{24}(H^2 - h^2)$$

L'effort tranchant maximum est égal à la somme des forces qui agissent sur les poutres, soit

$$\frac{\delta l}{8}(H^2 - h^2)$$

Comme exemple de calcul, pour le pont étanche le moment fléchissant maximum se produit au milieu de la poutre et a pour valeur

$$M = \frac{pl^2}{8}$$

On tirera les dimensions de la formule

$$I = \frac{Mn}{R}$$

n étant la moitié de la largeur du pont.

CHAPITRE XXVII

MURS DE QUAI

Les rives des fleuves, les darses et bassins où opèrent les navires doivent être d'un abord facile, spécialement pour la manutention des marchandises.

Appontements. — Dans les rivières surtout on se contente le plus souvent d'appontements en charpente, métal ou maçonnerie (Pauillac, Bordeaux, New-York, etc.).

Même dans les bassins à flot les débarcadères en bois sont parfois employés (bassins Asia et de la Campine à Anvers) (fig. 110), une partie du bassin de Penhouet, à Saint-Nazaire.

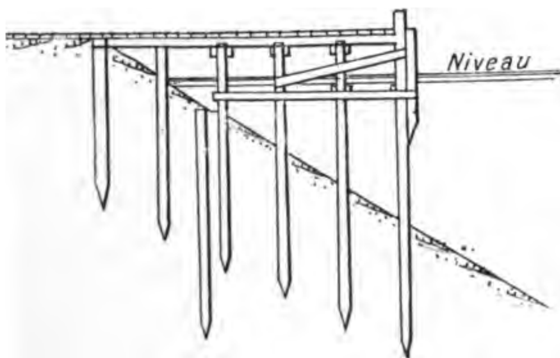


Fig. 110.
Estacade. — Quai Est du bassin Asia, Anvers.

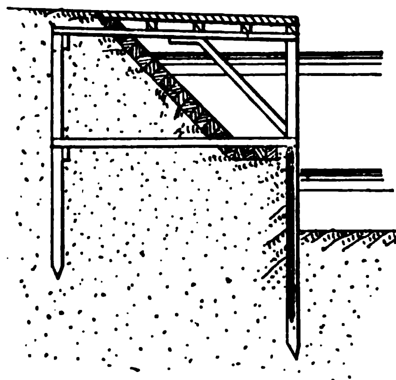


Fig. 111.
Aberdeen. — Appontement avec talus pavé.

Dans les ports nouveaux, là surtout où l'eau est assez douce pour empêcher l'invasion du taret, l'usage des estacades de charpente est économique. Il est bon de revêtir d'un perré le talus sous l'appontement (fig. 111), afin d'en empêcher le délavage.

Murs de quai. — Cependant dans la grande majorité des cas et dès que l'importance du trafic en justifie la dépense, il y a avantage à la construction d'un véritable mur, à peu près vertical, délimitant le bassin et sur lequel s'installent les voies ferrées, les hangars, les appareils de levage qui accélèrent les manutentions.

A Barry et dans plusieurs ports charbonniers anglais les quais, au lieu d'être verticaux, sont en talus.

Cette disposition n'est avantageuse que là où les manutentions se font par des appareils fixes. Au début du chargement, les navires calant peu peuvent se placer un peu obliquement, en échelons, et empiéter ainsi les uns sur les autres, l'avant se plaçant au-dessus du talus. La longueur du quai est ainsi utilisée par un nombre plus grand de bâtiments, et l'on peut y disposer aussi plus d'appareils de chargement.

Hauteur. — Dans les bassins à flot, où le niveau est à peu près constant, si tous les navires avaient la même hauteur, il serait bon que leur pont fût au niveau du quai. Mais outre que cette disposition entraînerait des dépenses considérables, elle est impossible par suite des différences de dimensions des bâtiments.

L'arête du mur s'élève en général de 2 à 3 mètres au-dessus du plan d'eau. A Marseille, la hauteur de 2,40 *m* est jugée la meilleure.

Dans les fleuves, avant-ports, bassins de marée, il faut toujours que le mur soit au moins à un mètre au-dessus des plus hautes eaux connues.

Quais en charpente. — Le revêtement de la berge se fait parfois en charpente. A Belfast, la moitié des quais de la rive gauche du Lagan a été ainsi construite, à cause de la fluidité du sol. L'estacade du *Queen's quay*, qui a 650 mètres de longueur (fig. 112) se compose de trois rangées de pilots de pitch-pin, mesurant 12 *m*, 13 *m* et 15 mètres, les derniers bordant l'eau. Ils ont 30 *cm* de côté et sont espacés de 2 mètres. Entre les pieux du bord ont été battues jointives des palplanches de 27 *cm*. La liaison est assurée par des croix de Saint-André et des tirants en fer. Ceux-ci sont fixés à d'autres pieux situés à 15 mètres en arrière. Le remblai a été effectué en matériaux légers.

Le même système a été employé à Kiel.

Murs en briques et métal. — On ne peut citer que pour mémoire les murs des traverses des docks Victoria à Londres, composés de voûtes

verticales en briques, encastrées entre les ailes de pieux métalliques en double T. Leur extrados, dirigé vers le remblai, est renforcé par une couche de béton.

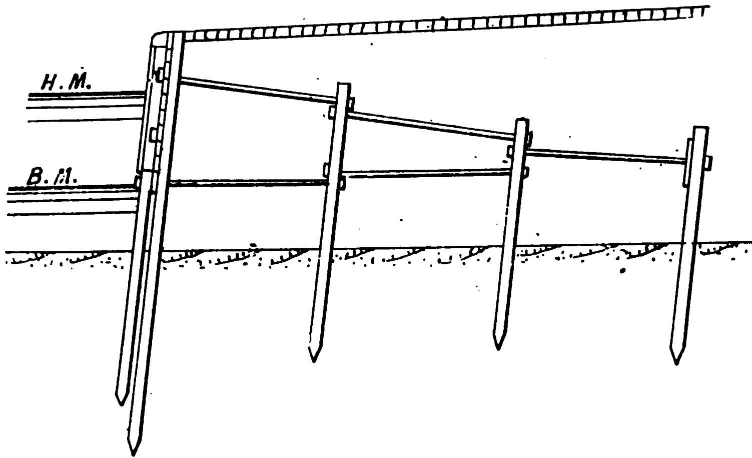


Fig. 112. — Belfast. — Quai en bois.

Les traverses en question ont 42 mètres de largeur. Les pieux métalliques de chacune des rives sont reliés à ceux de l'autre rive par des tirants en fer de cette longueur.

Le procédé avait pour but de rendre étanche le sol de la traverse, creusé de caves; mais il n'y a guère réussi et a été abandonné.

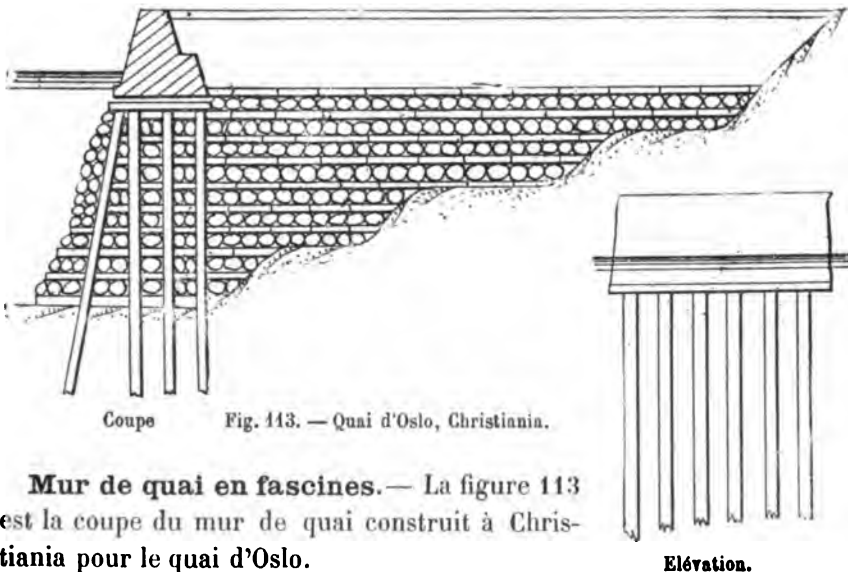


Fig. 113. — Quai d'Oslo, Christiania.

Mur de quai en fascines.— La figure 113 est la coupe du mur de quai construit à Christiania pour le quai d'Oslo.

Aujourd'hui les murs de quai sont presque toujours construits en maçonnerie de briques, pierres ou béton.

Épaisseur. — Elle se calcule comme celle des revêtements destinés au soutènement des terres ; mais il faut prévoir que l'eau du bassin ou celle des masses liquides avoisinantes peut s'infiltrer derrière le mur. La formule qui donne la poussée Q est alors, on le sait, en appelant h la hauteur et d la densité du mur

$$Q = \frac{dh^2}{2}$$

quand le bassin est vide.

Cette poussée est appliquée au tiers de la hauteur à partir de la base.

Si les remblais consistent en matières insolubles, on ajoute à la valeur Q la pression exercée par ces matériaux et qui en général n'est pas très grande ; mais s'il s'agit de vases, l'eau en les diluant produit un liquide visqueux de forte densité et qui détermine une poussée considérable. Par ailleurs, le poids de la maçonnerie diffère selon que le mur repose sur un sol imperméable ou — cas le plus fréquent — que l'eau peut passer en-dessous et exercer une sous-pression, car alors il faut déduire du poids de la maçonnerie celui de l'eau déplacée.

Les murs de quai ont encore à supporter des charges additionnelles constantes, comme le poids des grues, des trains de chemin de fer qui passent sur la plateforme, des magasins, etc. et d'autres éventuelles, comme le dépôt de matières parfois très lourdes sous un petit volume, par exemple les machines. Aux Bute docks, à Cardiff, un mur a cédé sous le poids de minerai de fer.

A Anvers et dans plusieurs ports, cette surcharge éventuelle a été estimée à 6 tonnes par mètre carré.

Suivant ces diverses circonstances, les calculs indiquent que l'épaisseur du mur à la base varie de 0,35 à 0,50 de la hauteur, et ce sont bien les dimensions généralement rencontrées dans la pratique. Ainsi, l'on a

	Hauteur	Epaisseur de la base	Proportion
	m	m	m
Havre { Bassin de l'Eure	9,50	5	0,52
Havre { Quai des Transatlantiques .	9,80 à 10,90	5,64 à 6,22	0,57
Anvers (Escaut).	14,35	7	0,48
Dunkerque, Bassin de Freycinet . .	12,65	6,10	0,48
Calais	9,50	7,00	0,65
Sables-d'Olonne, Bassin à flot . .	7,18	3,42	0,47
Liverpool, Langton docks et autres bassins nouveaux.	10,00	6,70	0,67

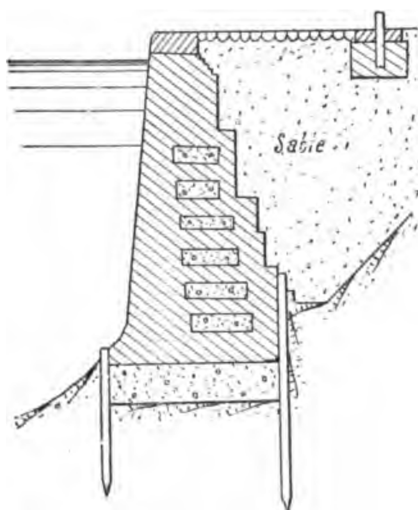


Fig. 114. — Kiel

La section des murs de quai est donc bien définie par le calcul.

Dans certains ports, on a préféré augmenter la section pour assurer la stabilité; mais en même temps, le remplissage se fait avec des matériaux bon marché, béton ou même gravier, Kiel (fig. 114), Geestemunde (fig. 115), quai sur la Clyde (fig. 116).

A l'Albert Dock de Hull (fig. 117) et aux Kidderpur Docks de Calcutta (fig. 118), la diminution

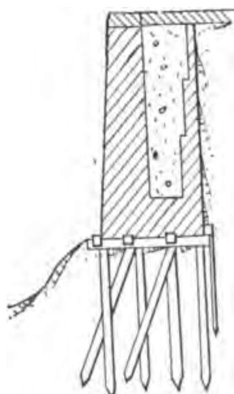


Fig. 115. — Geestemunde.

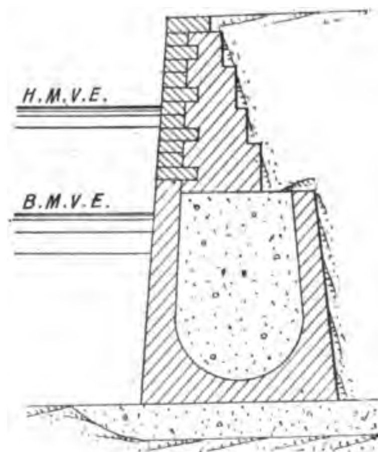


Fig. 116. — Quai sur la Clyde.

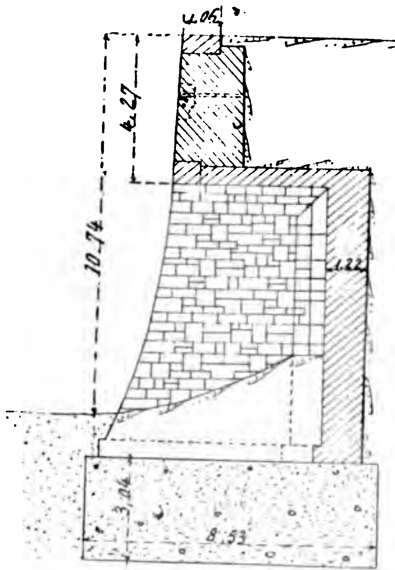


Fig. 117.— Albert Dock. — Coupe.

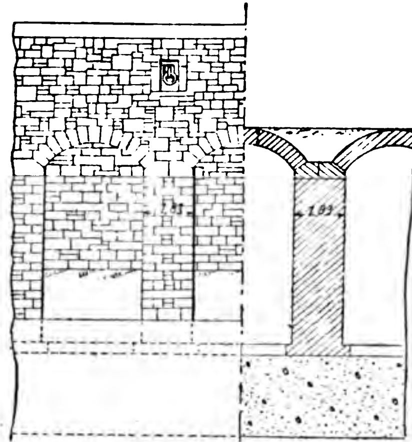


Fig. 117. — Albert dock. Hull. Elévation et Coupe.



Fig. 117. — Albert dock. — Plan.

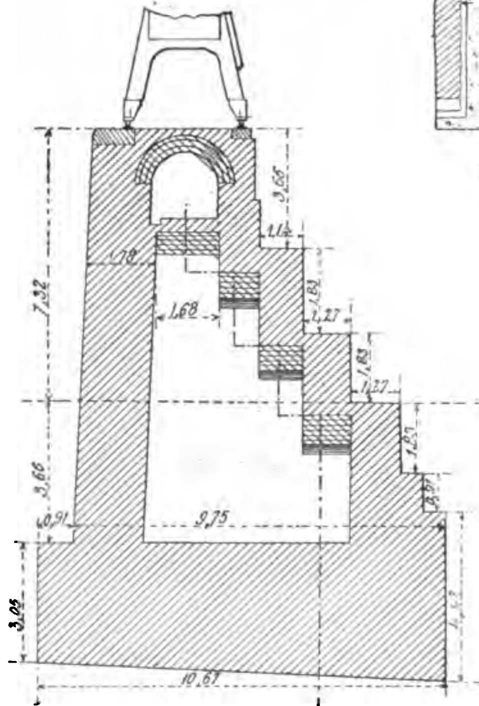
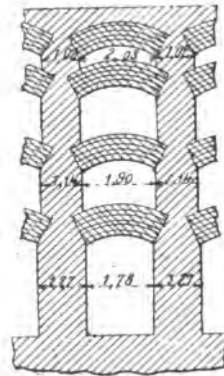


Fig. 118. — Mur de quai du Kidderpur dock.



Section EF.

de pression est demandée à des voûtes. De même du port franc de Copenhague (fig. 119).

A Marseille l'épaisseur des premiers quais, en blocs artificiels superposés, était les 0,40 de la hauteur ; reconnue trop faible, elle a été portée à 0,42.

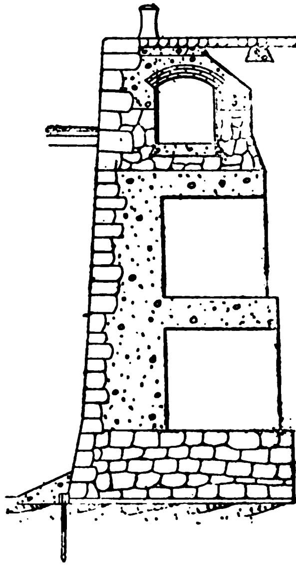


Fig. 119. — Copenhague.

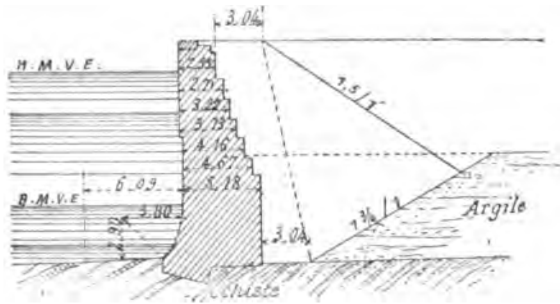


Fig. 120. — Barry.

L épaisseur va en général en diminuant de la base au sommet, soit par des redans, soit par l'inclinaison de la face contiguë au remblai, disposition qui augmente la stabilité.

Le parement vu devrait être vertical et l'on trouve des exemples de cette disposition (Barry, fig. 120) qui a l'avantage de permettre l'accostage des navires et de diminuer la portée des grues de levage. Pourtant le parement présente d'ordinaire un fruit, dans le but d'empêcher le déjet du mur en surplomb au cas de tassement. Ce fruit varie de $\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{10}$ en France ; en Angleterre il atteint souvent $\frac{1}{12}$ et même $\frac{1}{24}$.

Parfois aussi le mur de quai affecte un profil courbe dont le centre est dans le plan de la surface de l'eau ; la partie supérieure est alors verticale. Mais c'est une forme à sujétion remplacée avec avantage par deux ou trois alignements droits inscrits dans la courbe.

Remblai. — On a vu ci-dessus l'importance des remblais derrière les murs de quai. Les meilleurs matériaux sont les plus légers, s'ils sont insolubles et l'on préférera les cendres, le mâchefer ; mais ils n'existent en quantité suffisante que dans certaines conditions, comme au voisinage de grandes usines.

En général, on emploiera les moellons à formes irrégulières donnant de nombreux vides, les galets, le gravier, le sable pur. A Southampton (fig. 121), où les murs cédaient, il a fallu dégarnir le remblai et recouvrir l'espace vide par un plancher. On doit avoir soin en pareil cas de prévoir l'écoulement des eaux qui pourraient s'accumuler dans le creux.

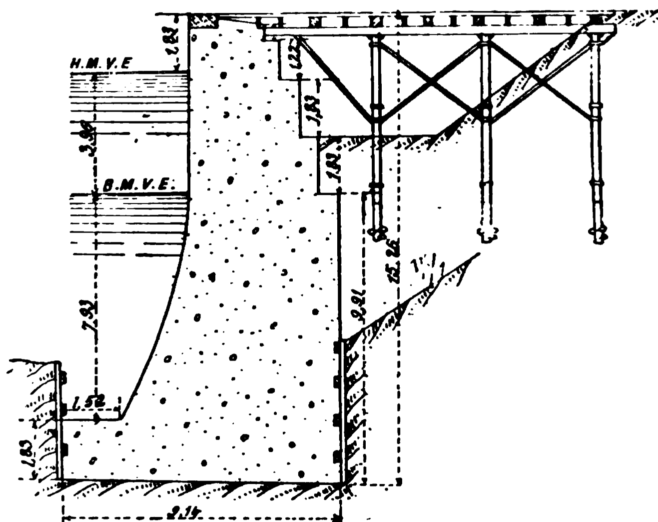


Fig. 121. — Quai de Southampton.

Les remblais ne seront effectués qu'après la prise complète des maçonneries, car la résistance des mortiers est très faible à l'origine. Dans le cas de bassins creusés à sec, où les murs ne font que soutenir les terrains naturels, ils seront pourvus de dalots qui étanchent le sol pendant la période de construction et sont bouchés avant l'introduction de l'eau.

Cette introduction n'est faite qu'après dessiccation des mortiers. Il est bon de l'effectuer simultanément avec le remblai, afin de presser les murs des deux côtés. En plusieurs circonstances (Kidderpur docks de Calcutta) un glissement commencé dans les maçonneries a été arrêté par le rapide remplissage du bassin.

FONDATIONS

La partie délicate de la construction des quais est la fondation. Celles des écluses et des bassins de radoub présentent les mêmes difficultés; leur étude est donc réunie dans ce chapitre.

TERRAINS SOLIDES

Le terrain de fondation peut être solide ou mobile. Les terrains solides comprennent les roches dures, les argiles compactes, les sables, graviers et galets. Les sables, qui constituent une excellente fondation, doivent être à l'abri de l'entraînement par les courants, cas ordinaire dans les bassins à flot, mais pas toujours dans les avant-ports.

La charge que ces divers terrains peuvent supporter au maximum par centimètre carré est de

7 kilogrammes pour les roches dures;
5 — — — calcaires, grès, sables fermes, graviers, galets.
3 pour les argiles compactes.

Argile. — L'argile est la nature de sol dont il faut le plus se méfier. Il est des couches compactes, horizontales, très sûres, mais certaines sortes, surtout la bleue, l'argile de Londres, se délaient au contact de l'eau et deviennent glissantes. M. Th. Stevenson cite l'exemple d'un quai, à Ardentallan sur le Loch Feochan, qui six années après sa mise en service disparut en deux heures en s'abîmant sous sept mètres d'eau.

De funestes glissements, dus à la même cause, se sont également produits aux docks de Kidderpur à Calcutta, aux South India docks de Londres, à Southampton, à Avonmouth, etc.

Les couches d'argile sont surtout dangereuses quand, de faible épaisseur, elles reposent sur des terrains glissants; ainsi, dans le cas des South India docks, l'argile bleue sur laquelle étaient fondés les murs de quais se trouvait superposée à de la vase, qui s'est écroulée latéralement sous le poids de la construction.

Des sondages minutieux et en nombre suffisant doivent renseigner sur la nature et l'épaisseur des terrains inférieurs. A l'embouchure des rivières surtout existent des lits successifs antérieurement occupés par le cours d'eau et où des dépôts de vases constituent de graves dangers. Ces lits anciens ont quelquefois leur niveau au-dessous des plus basses mers actuelles, par suite de dépressions survenues dans les continents; c'est ce qui a été constaté à South Shields, sur la Tyne.

Quand il y a plusieurs couches superposées, le choix de celle à laquelle il faut s'arrêter dépend des conditions locales et l'on se montrera très

circonspect à cet égard. Les fondations profondes sont onéreuses, mais les réparations le sont souvent bien plus encore.

Il faut remarquer qu'après la construction des murs de quai non établis en eau profonde, le bassin est dragué à leur pied tandis que le comblement s'effectue par derrière. Si les fondations reposent sur une couche d'argile jusque là soustraite à l'action de l'eau, elle y devient soumise après le dragage. Elle se délaie peu à peu, devient fluide, et la différence de pression détermine le glissement vers le bassin.

Malheureusement, les renseignements donnés par les sondages ne sont pas toujours exacts. Les fondations de nombreux ports ont éprouvé ainsi des mécomptes sérieux, et il n'y a pas lieu de s'en étonner puisque même à terre, pour la nature des terrains où a été construit le grand canal de Chicago, les sondages, si bien exécutés qu'il fussent, ont donné lieu à d'énormes erreurs d'appréciation.

Ce n'est pas là le seul inconvénient des sondages. Pour diminuer les chances d'erreur, il faut les multiplier et les exécuter aux points précis des travaux à exécuter. Or, il arrive parfois que les trous ainsi creusés servent d'exutoire à des sources inférieures (bouillons) qui portent le plus grand trouble dans les travaux exécutés à sec par épuisement; c'est ce qui est arrivé notamment à l'Albert Dock de Hull.

TERRAINS MEUBLES

On peut ranger dans cette catégorie les argiles glissantes; mais le type du sol meuble, c'est la vase.

Elle supporte jusqu'à un certain point une compression verticale et les pierres fixées à sa surface ne s'enfoncent pas complètement, bien que d'un poids spécifique supérieur; mais elle résiste à peine à un effort horizontal. On peut donc lui superposer un ouvrage isolé, comme un môle, une digue, où les pressions sont verticales, mais l'établissement d'un quai y est une entreprise difficile, car le mur tend toujours à se déplacer sous les efforts latéraux. A Trieste, par exemple, la digue n'a subi qu'un tassement, qui a été d'un mètre environ, tandis que les murs des quais pressés par le remblai ont été disloqués, surtout dans le premier bassin.

Il est nécessaire de décrire en détail le mode de fondation dans ces divers terrains, en distinguant les murs construits à sec à l'abri d'un batardeau ou à la marée, de ceux établis en eau profonde.

Murs construits à sec. — Sur les terrains rocheux, il n'y a aucune particularité à signaler. Toujours, bien entendu, la fondation sera reliée au roc le mieux possible. Les parties inclinées seront évitées de crainte des glissements.

Le rocher sera donc entaillé en redans, ou au contraire nivelé par un massif de béton. Les circonstances locales indiquent le procédé à suivre.

Sable ou galet. — Sur un fond de sable non affouillable ou de galet, la fondation se fait dans une rigole plus ou moins profonde qui reçoit un massif de béton sur lequel

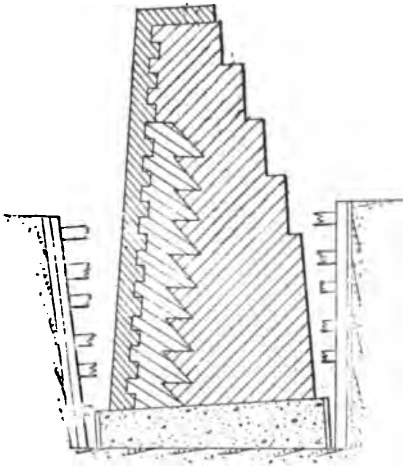


Fig. 122. — Bassin de l'Eure, Mur de quai.

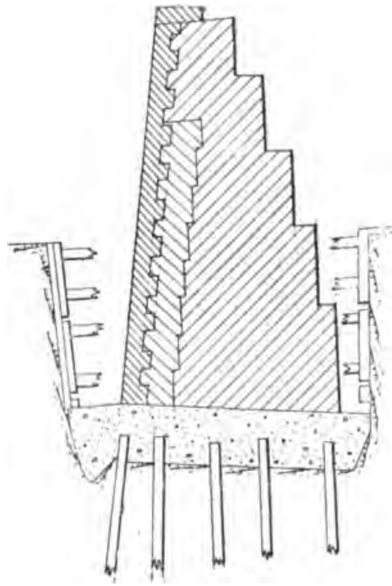


Fig. 123. — Le Havre. — Mur du môle.

s'élève la maçonnerie. Les talus de la rigole sont étrésillonnés si elle est trop profonde, et parfois de crainte des affouillements le massif de béton est protégé par des palplanches.

Au Havre, au bassin Bellot, la couche de béton, arasée à la cote — 2,20 *m*, n'a que 1,50 *m* d'épaisseur. Mais elle est appuyée du côté du bassin d'une berme de 80 *cm* d'épaisseur et 60 *cm* de hauteur, qui permettrait un approfondissement du bassin sur 50 *cm* s'il était reconnu nécessaire.

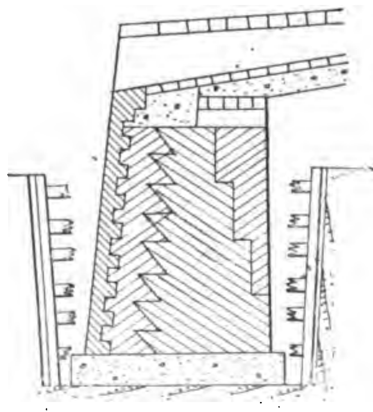


Fig. 124. — Quai de la cale au bois (Eure).

Le même procédé a été appliqué à la fondation du mur de mer qui sépare de la Seine le bassin Bellot, et connu sous le nom de digue Saint-Jean. La plateforme de béton, de 1,50 *m* d'épaisseur, est arasée à la cote 2,15 *m*; l'épuisement avait lieu à chaque marée et le coulage du béton se faisait immédiatement. L'assèchement était effectué par deux pompes centrifuges qu'on descendait avec leurs moteurs sur la plage au jusant et qu'on remontait quand venait le flot.

Les figures 122 à 124 représentent divers types de quais du Havre.

A Calais, le fond de sable étant exposé à de légers affouillements, la fondation de béton a été renforcée du côté du bassin par un ergot de 75 *cm* d'épaisseur.

Dunkerque. — Darse n° 4. — Des 5090 mètres de quais qui bordent les bassins Freycinet 4245 mètres ont été construits dans une fouille épuisée.

La fondation repose sur une couche de sable fin de grande épaisseur; elle se compose d'un massif de béton de 6,90 *m* de largeur, coulé en talus dans une enceinte de pieux et palplanches. Il a une hauteur de 12,65 *m* au-dessus de la fondation et 6,10 *m* de largeur à la base; il est construit en moellons calcaires parementés de moellons d'appareil.

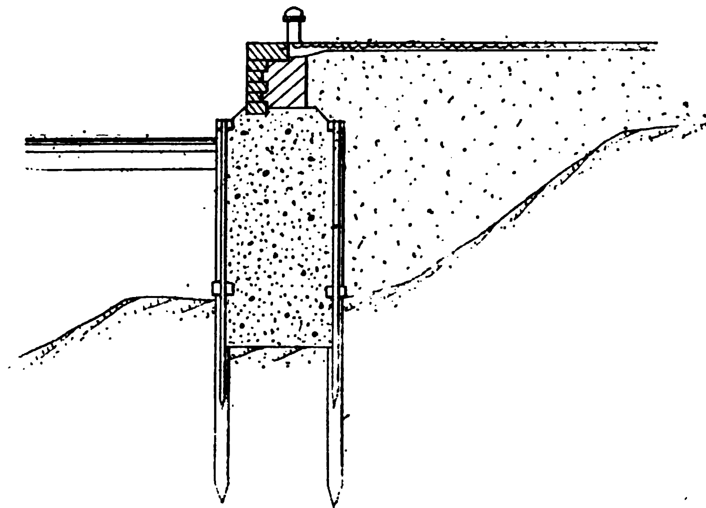


Fig. 125. — Canal Saint-Louis.

Canal Saint-Louis. — Le quai ouest du chenal, le musoir et le quai sur le Rhône sont construits en béton dans un encaissement en

pieux et palplanches (fig. 125). Le béton est surmonté d'un mur en maçonnerie. Il descend à la cote — 6 mètres.

Belfast. — Le mur de quai du nouveau bassin de marée de Belfast a été construit à travers un terrain très mauvais, composé d'une vase durcie, sur une couche de sable fin. Les fondations ne dépassent que de 1,50 *m* le fond du bassin; la hauteur du mur est de 13,75; la base, qui a 7,30 *m* d'épaisseur, est inclinée de 35 *cm* vers l'arrière. Le mur, en maçonnerie a été construit dans une fouille étagée et présente six redans successifs à l'arrière (fig. 126).

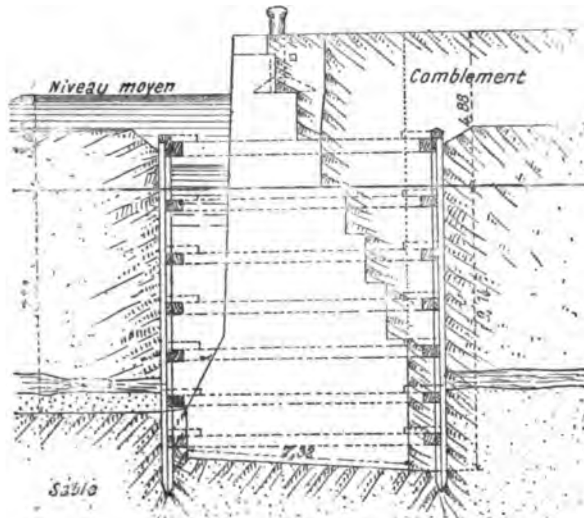


Fig. 126. — Fouilles à Belfast.

La résistance est assez forte pour que les hangars soient établis à moins de 4 mètres de l'arête du quai.

Le bassin a été, après achèvement des murs, creusé à la drague.

Fondations dans les terrains difficiles. — Dans les terrains difficiles, il est souvent prudent de n'exécuter les fouilles pour les fondations que par parties aussi réduites que possible. Un bon procédé est celui qui a été suivi à Newport sur l'Usk, en Angleterre pour le bassin du radoub.

Newport. — On a commencé par creuser seulement les tranchées des murs, en étageant les fouilles et les étayant fortement (fig. 127). Une fois les murs construits, le noyau central a été enlevé sur une

profondeur de 6 mètres, laissant à la base une couche d'épaisseur suffisante pour empêcher le glissement des murs. Celle-ci a enfin été extraite sur toute sa largeur par bandes de 4,50 *m* de largeur. A mesure

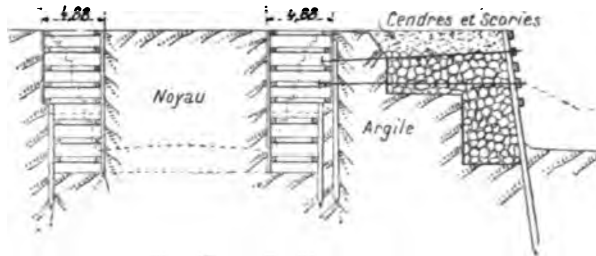


Fig. 127. — Fouilles à Newport.

on coulait le béton du radier et l'on procédait ensuite à l'excavation de la tranche voisine.

Couches superposées — Le sable ou les galets qui reposent sur des terrains mobiles risquent de glisser. Si les couches meubles sont peu épaisses, le mieux est de les enlever jusqu'à la rencontre du sol ferme ; mais si celui-ci est trop profondément situé, le dragage serait difficile et coûteux. La fondation se fait alors, suivant les circonstances, sur pilotis, sur puits enfoncés par havage ou par l'air comprimé ou par divers autres procédés.

PILOTIS

Un pilotis se compose de pieux ou pilots enfoncés dans le sol et dont l'ensemble, réuni par une charpente horizontale ou un massif de béton, sert de fondation à un ouvrage.

Frottement. — Les pilots ne sont soutenus que par le frottement de leurs parois contre le sol, frottement qui diffère selon la nature du terrain et la profondeur d'enfoncement. Il n'existe que de rares données sur sa valeur, et elles sont très variables. Sur des cylindres de fonte enterrés dans le gravier on a trouvé par mètre carré 5 tonnes pour les petites profondeurs et 6 tonnes entre 6 et 9 mètres. Pour les cylindres en béton dont sont formés les quais de la Clyde, la valeur calculée a été de 4 tonnes. M. Hurtzig pense qu'elle s'élève parfois à 9 tonnes. Les Hollandais, très experts en matière de pilotis, admettent 3 tonnes.

Mais d'autres expériences ont donné des chiffres beaucoup plus réduits,

de 1,6 à 1,8 tonne, et à la Rochelle ainsi qu'à Rochefort les pieux ont été calculés pour supporter un poids inférieur à une tonne.

Nature des pilots. — On emploie en général des bois en grume écorcés, débarrassés de toute saillie, enfoncés par le petit bout ; l'orme est la meilleure essence. Le diamètre varie de 15 à 40 *cm*. L'écartement ordinaire est d'un mètre de centre en centre. La longueur est très variable et va jusqu'à 12 mètres et plus ; les pieux sont alors formés de troncs réunis par un manchon noyé et cloué.

La tête du pieu est munie d'une frette en fer, qui prévient l'écrasement des fibres sous les coups du mouton servant à l'enfoncement. Le pied est appointi et armé d'un sabot conique formé d'une feuille de tôle épaisse retenue par des clous à tête noyée.

Mode d'enfoncement. — L'enfoncement a lieu par la sonnette ordinaire à tiraudes ou mieux par un treuil à vapeur, ou encore par des marteaux-pilons, fixés sur la tête du pieu. La charpente de la sonnette est assez élevée pour que le pieu, auquel les montants servent en même temps de guides, laisse au début de l'opération une distance d'un mètre entre sa tête et le mouton.

Sous le choc le pieu descend, rapidement d'abord ; l'enfoncement diminue à mesure qu'augmente le frottement exercé contre la surface du pieu par le terrain comprimé. Si le pilot rencontre un terrain résistant, il s'arrête ; sinon, il arrive un moment où le frottement est tel que l'enfoncement est à peine sensible. On cesse alors le battage.

L'enfoncement est grandement facilité par l'emploi d'injection d'eau, procédé qui sera décrit à propos des fondations du mur de quai de Calais.

Charge admissible. — Soient, comptés en kilogrammes et en mètres, P et Q les poids respectifs du mouton et du pieu, h la hauteur de chute du mouton au dernier coup, e l'enfoncement déterminé par ce coup, la charge R que le pieu peut supporter est donnée par la formule

$$R = \frac{P^2 h}{6e(P+Q)}$$

6 est le coefficient de sécurité. Le plus souvent la charge à répartir sur les pieux est connue et la formule détermine e ou le nombre de pieux à battre dans l'espace de la fondation.

Cette formule doit être appliquée avec prudence. Pour des valeurs très petites de e, R est très grand et il atteint l'infini pour $e = 0$; or, il est clair qu'on ne pourrait charger le bois d'une quantité supérieure à sa résistance pratique à l'écrasement.

D'autre part, si avec 100 pilots une surface donnée peut être chargée d'un poids p, il n'en résulte pas que ce poids pourrait être doublé avec 200 pilots, à moins que ceux-ci ne touchent le terrain solide, auquel cas les pieux travaillent comme des colonnes en bois. Si au contraire les pieux ne résistent que par leur frottement contre le sol environnant, ce sol lui-même n'est capable de supporter qu'une certaine pression, au delà de laquelle, surtout s'il s'agit de vase, il s'enfoncerait avec les pilots.

On ne dépasse guère la charge de 70 kilogrammes par centimètre carré si le pieu atteint le terrain solide, et il est prudent de se borner au cinquième de cette charge dans les sols douteux.

Avec $P = 1\,000$ kilogrammes, $Q = 350$ kilogrammes (pour un pieu rond de 30 *cm* de diamètre, 6 mètres de longueur et de densité égale à 0,8), $h = 3$ mètres et en se fixant $R = 30$ kilogrammes par centimètre carré, ce qui donne $R = 21\,210$ kilogrammes pour la section du pieu qui est de 70 cm^2, on trouve

$$e = 17\ mm.$$

En Angleterre, on emploie pour calculer la résistance des pieux la formule de Rankine :

$$P = \sqrt{\frac{4\,\mathrm{ES}wh}{l} + \frac{4\,\mathrm{E}^2\,\mathrm{S}^2x^2}{l^2}} - \frac{2\,\mathrm{E}\,\mathrm{S}x}{l}$$

dans laquelle on a :

W poids du mouton en tonnes;
h hauteur de chute en pieds;
x enfoncement du pieu sous le dernier coup en pieds.
P, charge maxima à faire supporter au pieu en tonnes;
S, section du pieu en pouces carrés;
l, longueur du pieu en pieds;
E, module d'élasticité du pieu par pouce carré (généralement 10^6).

La même formule s'applique avec les nombres du système métrique, en prenant $E = 10^7$ pour les bois généralement employés.

La formule de Rankine fournit à peu près les mêmes résultats que celle indiquée en premier lieu. Ainsi avec les nombres précédents, pour un enfoncement de 17 millimètres, elle indique avec 6 comme coefficient de sécurité, 25 000 kilogrammes au lieu de 21210 kilogrammes. Elle a en outre l'avantage de ne pas donner des résultats excessifs pour les enfoncements très réduits. Mais elle est longue à appliquer, et en Amérique, à cause de ce défaut on ne l'emploie pas, bien que celle de Trautwine, très usitée, soit aussi compliquée. Elle est :

$$R = \frac{\sqrt[3]{h} + 50\,w}{c\,(e+1)}$$

c est le coefficient de sécurité, que Trautwine fait varier de 3 à 12 selon les cas ; les autres lettres ont les mêmes significations que ci-dessus.

Wellington a proposé

$$R = \frac{2\,wh}{e+1}$$

et M. Foster Crowell a ainsi modifié cette formule :

Pour les charges statiques

$$R = \frac{2\,wh}{e+0,1+n}$$

Pour les charges dynamiques ou vibratoires

$$R = \frac{2\,wh}{e+0,1+n+n'}$$

n étant $\frac{\sqrt{e}}{2}$ et n' un coefficient qui varie de 0,1 à 1 suivant les charges.

Il existe un grand nombre d'autres formules ; mais toutes plus ou moins sujettes à critique.

Limite du battage. — Il faut se garder de pousser trop loin le battage des pieux ; on n'arrive qu'à écraser les fibres, sans ajouter beaucoup à la résistance. Avec un mouton de 800 kilogrammes tombant de 2,50 *m* à 3 mètres de hauteur, on s'arrête en général quand on a atteint un enfoncement de 3 millimètres par coup.

Précautions. — Dans les sols tourbeux, il arrive que l'élasticité suffit à faire rebondir le pieu après le choc ; il est bon de laisser quelque temps le mouton reposer sur la tête du pilot avant de continuer.

Quand le battage est repris après un ou plusieurs jours d'interruption, il arrive souvent que la résistance à l'enfoncement est beaucoup plus grande, les terrains s'étant tassés pendant le repos ; on peut être

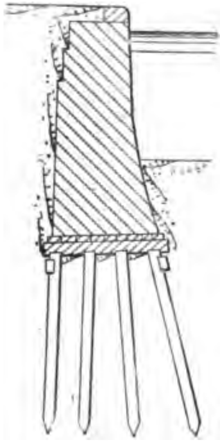


Fig. 128. — Londres, mur de quai.

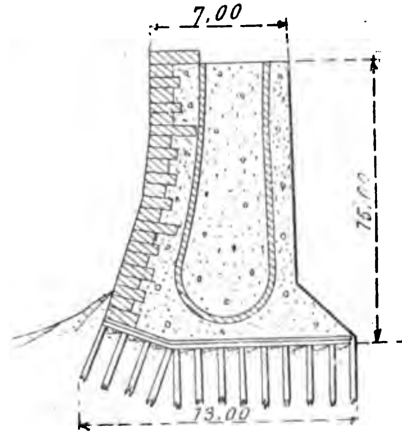


Fig. 129. — Portsmouth, mur de quai.

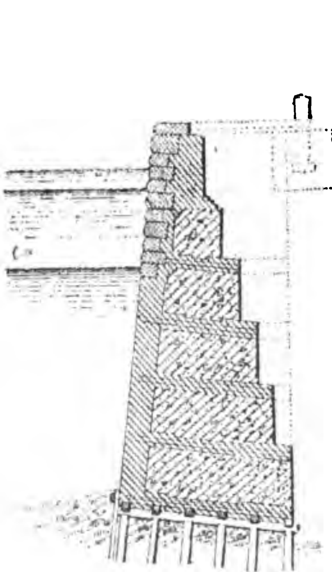


Fig. 130. — Sheerness.

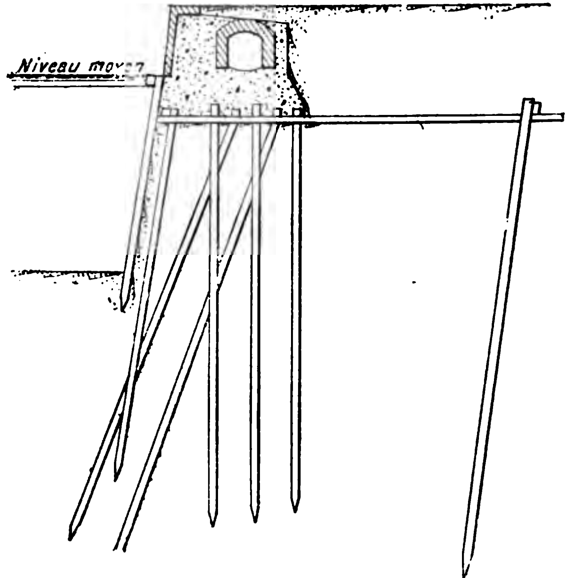


Fig. 130 *bis*. — Lubeck.

ainsi conduit à arrêter trop tôt le travail. Il importe par conséquent de ne pas mettre de temps d'arrêt dans le battage.

La charge sur une surface donnée étant connue est répartie sur un

pilotis en lui proportionnant le nombre des pieux. Mais l'application de cette règle exige également de la circonspection.

Plateforme d'assise. — Les pieux battus sont recépés tous à la même hauteur par une scie spéciale, *au-dessous* de la surface de l'eau, car des pieux qui se découvriraient par intervalles n'auraient aucune durée.

Les têtes sont réunies par des pièces horizontales moisées recouvertes d'un plancher ou grillage sur lequel est construit l'ouvrage supérieur. Aujourd'hui, on préfère enchâsser les têtes dans un massif de béton, qui offre de nombreux avantages.

En Angleterre, le grillage ou fondation des murs de quai est très souvent incliné en arrière, normalement au fruit des murs ; c'est évidemment là une condition de résistance. On plante aussi les pieux perpendiculairement au grillage, de façon à constituer de solides arcs-boutants. Tout au moins les pilots sont-ils obliques, pour résister au glissement. C'est ainsi qu'ont été fondés les quais de Londres (fig. 128), de Portsmouth (fig. 129) de Sheerness (fig. 130) etc.

La disposition de ce dernier quai est remarquable ; elle est due à sir John Rennie. Ce mur a été établi sur un très mauvais sol, consistant en une couche de vase fluente, d'une profondeur de 15 mètres, couverte d'une boue alluviale très molle. La plateforme de pieux de 13 mètres de longueur comportait des palplanches

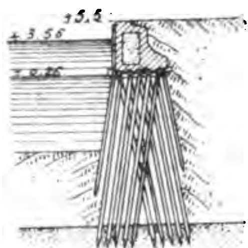


Fig. 131. — Bremerhaven. — Mur de quai.

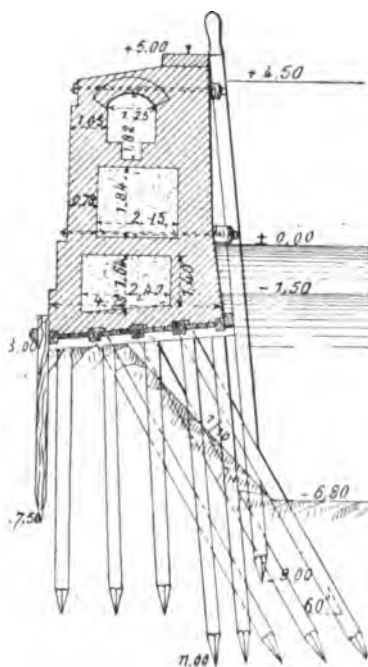


Fig. 132. — Quai de Brême.

le long de la rivière ; les pieux, espacés d'un mètre, étaient enfoncés

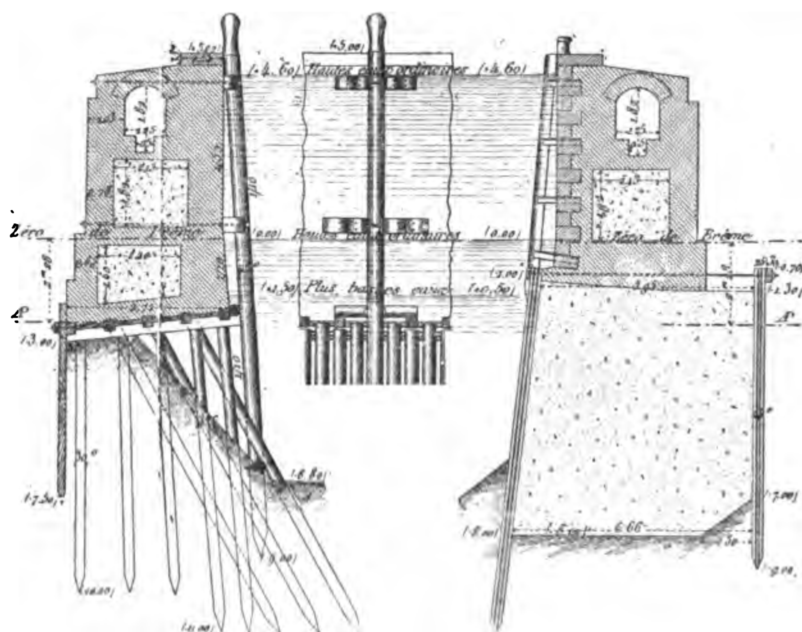


Fig. 133. — Brême. — Mur du Hafenbecken, fondé à la marée.

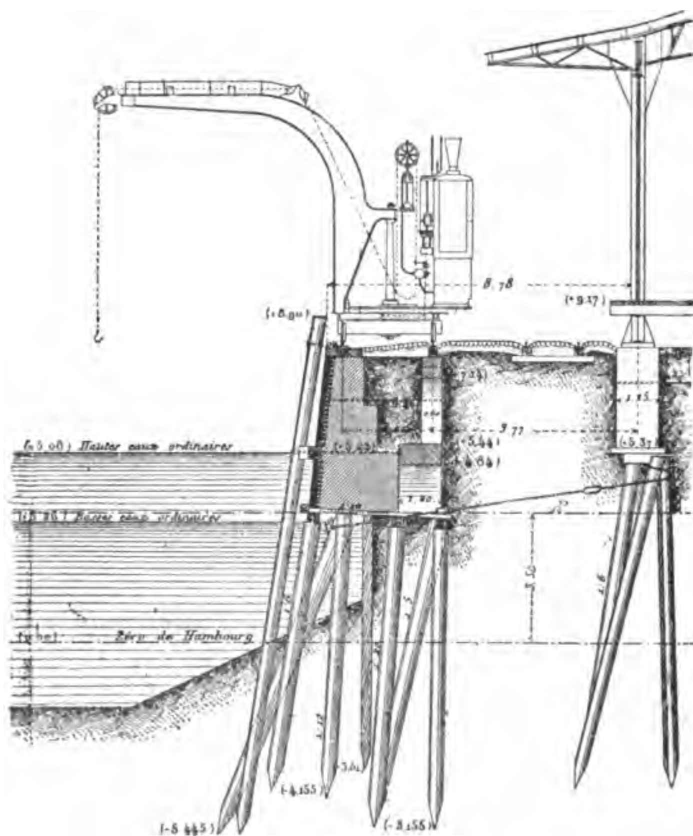


Fig. 134. — Hambourg. — Mur de quai de Sandtorhafen. Coupe transversale.

jusqu'à ce que sous le choc d'un mouton de 750 kilogrammes tombant de 7,50 *m*, l'enfoncement ne fût que de 12 millimètres.

L'ouvrage n'a jamais subi d'avaries, mais il présente une masse considérable, qui ne serait plus imitée aujourd'hui, comme trop coûteuse.

Pour enfoncer les pieux obliquement, la sonnette est inclinée en conséquence.

En Allemagne, les pilotis obliques se rencontrent fréquemment. La figure 130 *bis* représente les nouveaux quais de Lubeck. Les pieux sont enfoncés par rangées distantes de 60 *cm* et alternativement composées l'une de quatre pilots verticaux, l'autre de deux inclinés à $\frac{1}{2,5}$. Une ligne de palplanches continue la superstructure au-dessous du grillage; elle empêche le délavage de la terre, mais n'a rien à supporter. Le mur est en béton, avec un revêtement en briques et couronnement en granite.

Les figures 132 et 133 indiquent les profils des quais de Brême et la figure 134 celui de Hambourg.

Ceux de Brême sont protégés par des pieux battus de 10 mètres en 10 mètres en avant du quai, longs de 15 mètres et auxquels s'attachent les navires. Les trois pieux obliques étaient enfoncés simultanément par une sonnette triple ayant l'inclinaison voulue et mobile sur rails.

Pieux à vis. — Dans les alluvions sablonneuses ou de consistance médiocre on emploie avec avantage les pieux à vis.

Le diamètre des pieux soumis à l'action des barres du cabestan se calcule par la formule :

$$d = a\sqrt[3]{\frac{A}{n}}$$

d, diamètre du pieu en centimètres, A l'effort transmis par minute en kilogrammètres ; *n*, nombre de tours en une minute, *a* coefficient égal à 1,01 pour la fonte et 1,22 pour le fer.

Quant à la résistance à la compression, en appelant

P la charge de rupture en kilogrammes ;

l la longueur du pieu en mètres ;

d son diamètre en centimètres ;

S sa section en centimètres carrés ;

C la charge totale à supporter en kilogrammes ;
N le nombre de pieux ;
d' diamètre de la partie creuse en centimètres ;
S' section — en centimètres carrés

La valeur de P sera pour les pieux en fer plein

$$P = \frac{600\ S}{1,55 + 0,0005\left(\frac{l}{d}\right)^2} \qquad (1)$$

Pour ceux en fer creux la valeur (1) est diminuée de

$$\frac{600\ S'}{1,55 + 0,0005\left(\frac{l}{d'}\right)^2}$$

Pour ceux en fonte pleine,

$$P = \frac{1250\ S}{1,45 + 0,00337\left(\frac{l}{d}\right)^2}$$

Valeur qui pour les pieux creux en fonte sera diminuée de

$$\frac{1250\ S'}{1,45 + 0,00337\left(\frac{l}{d'}\right)^2}$$

Dans tous les cas on aura :

$$\frac{C}{P} = N$$

CONSOLIDATION DES TERRAINS VASEUX PAR LE SABLE

Quai d'Handelskade, Amsterdam (fig. 135). — Le terrain étant très mauvais (vase et argile molle) a été consolidé par du sable entassé jusqu'au-dessus du niveau de l'eau ; dans certains endroits le sable est descendu à 17,50 *m* de profondeur, en faisant refluer le terrain sur une grande largeur.

Ce sol résistant a été ensuite creusé assez profondément pour l'établissement de la fondation sur un pilotis général, dont une partie, celle située près du bassin, a été recépée à la cote — 5,50 *m* (au-dessous de A P). Il supporte un massif de béton descendu à la cote — 6 mètres, large de 5,50 *m*, sur lequel est construit le mur de quai. En arrière,

les pieux ont été recépés au niveau de la surface supérieure du massif de béton (— 2,50 *m*) et leurs têtes ont reçu une plateforme qui supporte le remblai en arrière du mur de quai. Les magasins sont fondés sur des pieux enfoncés dans le sable.

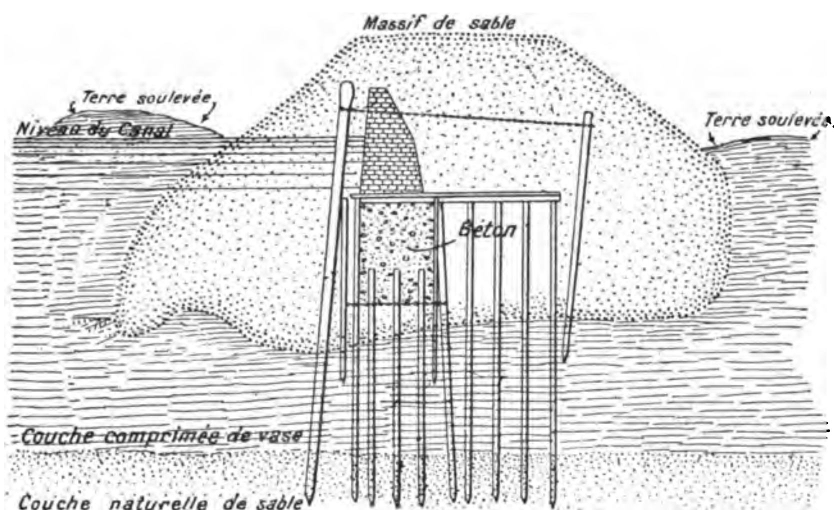


Fig. 135. — Mur de quai d'Andolskado.

Ce procédé de consolidation des terrains vaseux par un remblai de sable a été imité pour la construction des levées qui limitent le canal de l'Empereur Guillaume dans la traversée des tourbières près du lac de Kuden.

HAVAGE

Le havage est un mode de fondation emprunté aux Indiens. Il consiste à provoquer l'enfoncement sous son propre poids d'un puits ou plutôt d'un cylindre creux sans fond en maçonnerie ; les matériaux sont au fur et à mesure déblayés à l'intérieur.

Primitivement le puits était construit sur un cadre ou rouet en bois, auquel on a renoncé au moins en France. En Angleterre, on se sert toujours du rouet qui est généralement en fonte, avec un tranchant pour aider à la descente.

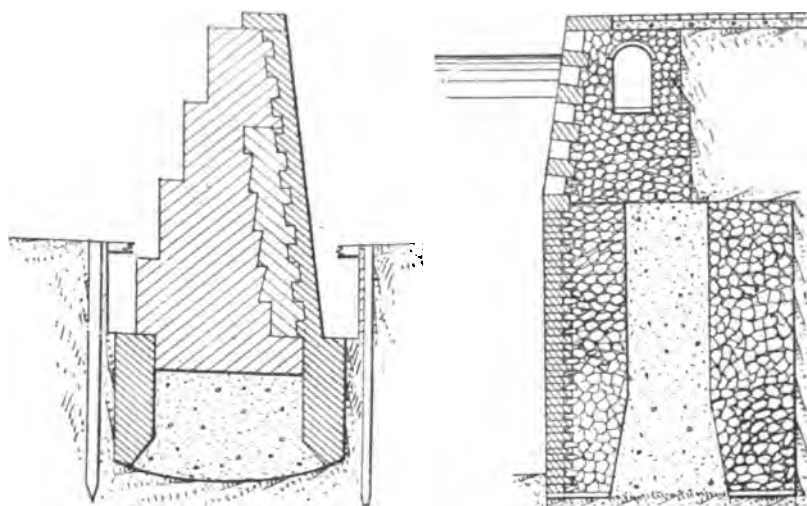
La fouille intérieure s'opère à la main ou par le moyen d'une drague à mâchoires ; quand les matériaux sont très meubles, une pompe à sable suffit. L'enfoncement se fait plus ou moins verticalement, mais

on arrive le plus souvent à redresser la maçonnerie, en creusant plutôt d'un côté que de l'autre. Parfois, cependant l'usage de guides est nécessaire.

A Calais, l'enfoncement a été activé et régularisé par des jets d'eau comprimée qui faisaient eux-mêmes remonter et déborder les déblais sablonneux.

A Rochefort, on s'est aidé de l'air comprimé, système analogue à celui des fondations par caissons, dans lesquels le bordage en tôle serait supprimé.

Havre, avant-port.— Le mur sud de l'avant-port est construit sur l'ancienne plage ; à une certaine profondeur existe une épaisse couche



Mur Sud de l'avant-port. Fig. 136. — Le Havre. Mur de quai fondé sur puits.

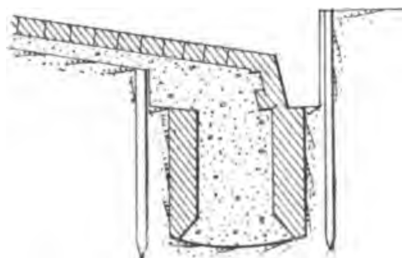


Fig. 136. — Le Havre. — Seuil du brise-lames.

de sables fins et fluents dits sables *bouillants*, où les déblais sont difficiles, étant sans cesse remplacés par des apports latéraux; l'assèchement est impossible, à cause du voisinage de la mer.

L'emplacement du quai fut délimité par le battage de deux lignes de pieux espacés de 1,50 *m* à la distance de 7,20 *m* l'une de l'autre. Cet emplacement ayant été creusé à la cote — 65 *cm* et les terres étant

retenues par des madriers jointifs cloués sur les pieux, on y installa un premier cadre en charpente de 6 mètres de côté, épais de 24 *cm*, formé de trois rangées de madriers de 80 *cm* d'épaisseur. Ce cadre était taillé en biseau ayant 30 *cm* à la face inférieure et 60 *cm* à la supérieure (fig. 136).

Sur celle-ci s'élève un mur de briques dont l'épaisseur de 60 *cm* augmente jusqu'à 1,03 *m*, chaque rangée de briques faisant saillie de 5 *cm* sur la précédente. Quand la maçonnerie était bien prise, l'intérieur était excavé, l'ensemble descendait et était surélevé progressivement jusqu'à ce que le cadre atteignit la cote — 2,85 *m*.

Les blocs successifs ainsi obtenus, distants de 80 *cm*, étaient réunis par du béton coulé entre eux après délimitation de l'espace par des palplanches. Sur le tout un massif de béton recevait le mur.

Bassin à flot de Bordeaux. — *Ecluses.* — Le terrain étant de mauvaise qualité, l'emplacement nécessaire a été circonscrit par une enceinte de blocs enfoncés par havage. Il en fut aussi descendu un nombre suffisant pour délimiter un rectangle de 205 × 57 mètres et ils ont servi de fondation aux bajoyers (fig. 137).

Ces blocs évidés, espacés de 50 *cm*, sont construits en cinq types différents dont les longueurs varient de 5,30 *m* à 33,35 *m*, les largeurs

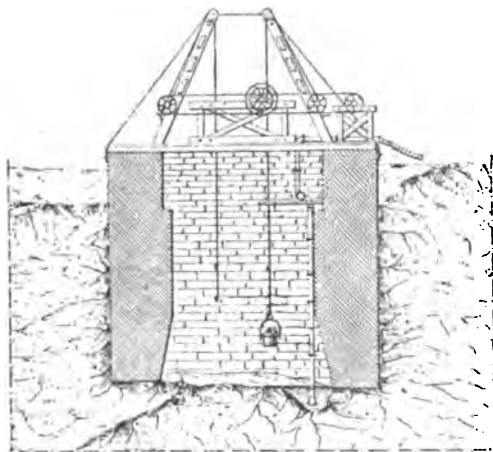
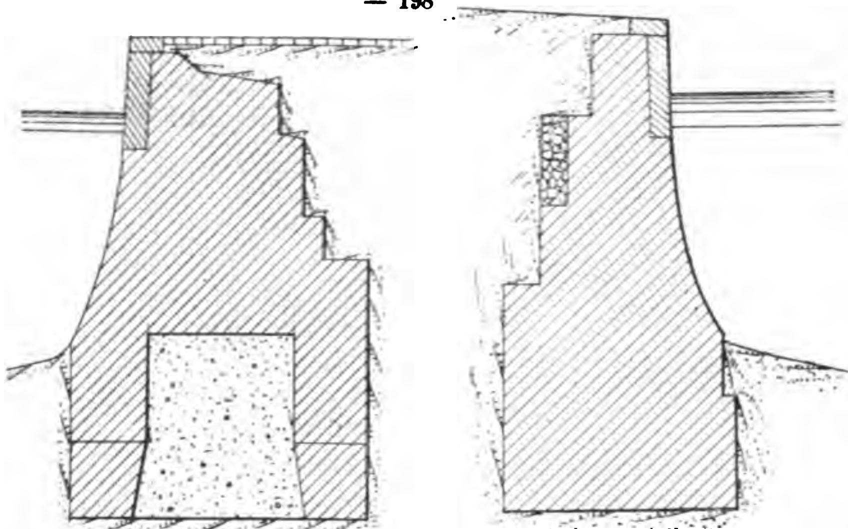


Fig. 137 — Bordeaux. – Havage.

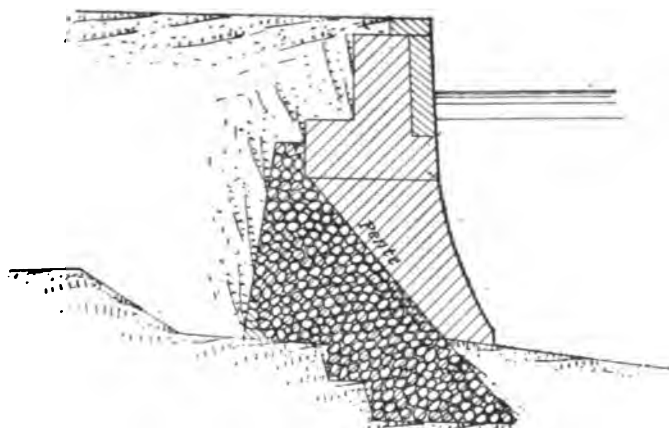
de 6 à 10 mètres et les hauteurs de 8 à 10 mètres. Suivant leur longueur ils contiennent un à six évidements.

Le sol étant creusé à la cote + 1 mètre, le bloc était fabriqué jus-

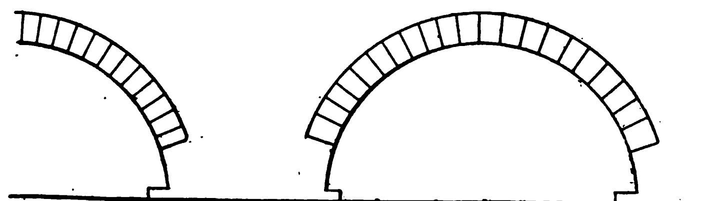


Mur de quai du bassin à flot.
Coupe sur l'axe d'un bloc.

Mur de quai fondé sur blocs et voûtes 0,005.
Coupe suivant l'axe d'un bloc.



Coupe suivant l'axe d'une voûte.



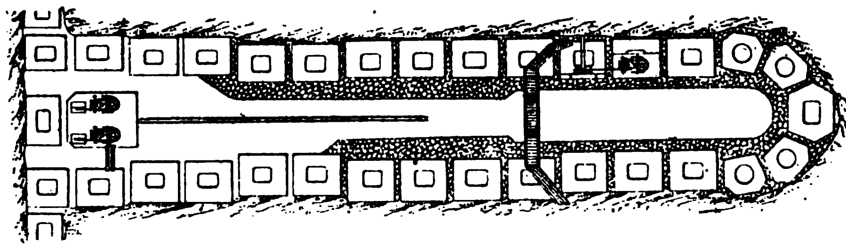
Mur de quai. — Elévation sur le bassin.
Fig. 138. — Bordeaux.

qu'à une hauteur de 5 mètres, limite de ce que pouvait supporter le terrain ; il séchait trois semaines et était ensuite descendu de sa hauteur, par affouillement intérieur. On construisait alors la hauteur (généralement de 4 mètres) restante, et la descente recommençait. La couche de gravier de fondation était atteinte à la cote — 7,50 *m* environ. Les puits étaient alors comblés en béton sous l'eau, en maçonnerie au-dessus. Les intervalles étaient remplis comme au Havre.

On a alors déblayé l'espace délimité par ces blocs à la cote — 6,50 *m* et établi la fondation des radiers en une couche de 2,50 *m* de béton, après épuisement.

L'enfoncement des blocs a éprouvé nombre de difficultés, provenant en partie de troncs d'arbre rencontrés et qu'il fallait enlever.

Murs de quai. — Ils avaient été commencés sur pilotis, mais furent continués par une série de voûtes en plein cintre, de 8 mètres d'ouverture, épaisses de 1,55 *m* à la clef, avec leurs naissances à la cote — 1,20 *m*. Elles reposent sur des blocs descendus par havage ayant 5 × 6 mètres, cette dernière dimension normalement au quai (fig. 138).



Fondations du bassin de radoub.

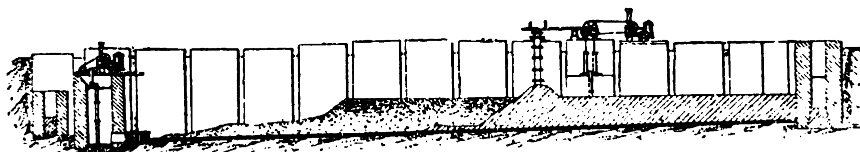
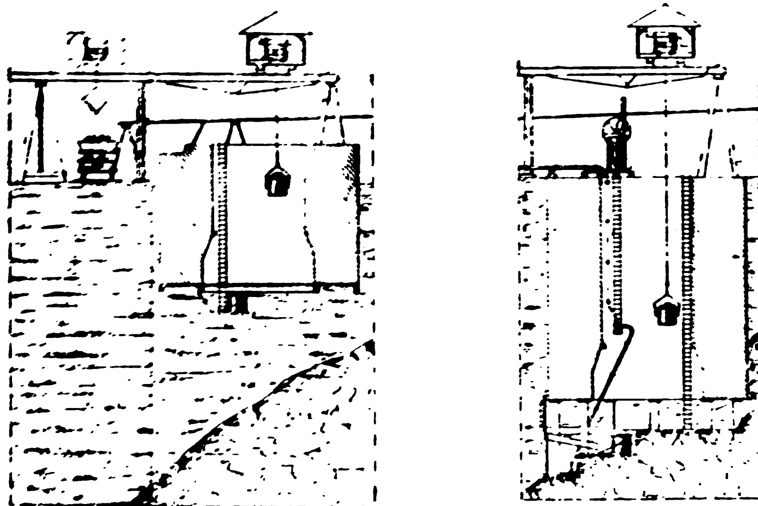


Fig. 139. — Bordeaux — Coupe des fondations du bassin de radoub.

Forme de radoub. — Les bajoyers ont été fondés comme ceux des écluses ; les blocs ont 9,75 × 8 × 9 mètres, évidés par des puits de 3,75 × 2 mètres ; il en a fallu trente et un (fig. 139).

Bassin de Penhouet, Saint-Nazaire. — On y travaillait à sec à l'abri d'un batardeau ; le terrain étant de vase sur rocher, il a fallu

descendre les fondations jusqu'à 15 et 18 mètres au-dessous du fond du bassin. Sur certains points, il aurait même fallu 30 mètres ; mais là on



N° 1. Fig. 140. — Havage à Penhouet. N° 2.



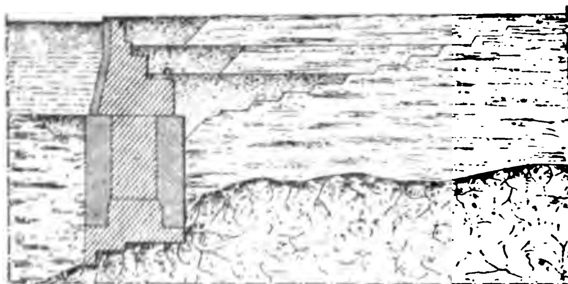


Fig. 140. — Coupe des murs du bassin de Penhouet.

a adopté des estacades en bois sur pilotis, destinées aux marchandises légères.

Les fondations se faisaient par fouille directe tant que le rocher n'était pas à plus de 4 mètres au-dessous du fond du bassin; la fouille devait avoir de 2 à 3 de base pour 1 de hauteur. Mais au-dessous de cette limite, le déblai était trop peu stable, et il a fallu recourir aux puits descendus par havage. La difficulté provenait de ce que le rocher affecte une pente de 2 à 3 pour 1; il était par conséquent nécessaire de dresser une base horizontale pour recevoir le bloc.

Quand celui-ci touchait le rocher sur un côté, l'autre côté était soutenu par des pieux de 40 à 50 *cm* d'équarrissage; on fouillait la vase sur 1,50 *m*. Le roc découvert était attaqué à la pioche et à la mine, en épontillant à mesure. Une fois le roc arasé à cette profondeur de 1,50 *m*, toutes les épontilles étaient percées à la tarière sur la moitié de leur épaisseur d'un trou horizontal qu'on remplissait de 50 grammes de dynamite, puis elles étaient sautées. Les pieux s'écrasaient et le bloc descendait régulièrement. L'opération recommençait 1,50 *m* plus bas jusqu'à obtenir une base suffisante (fig. 140).

Un bloc-culée de 2 000 tonnes a été ainsi descendu en trois opérations; avant la dernière, il était supporté par 25 étais de 45 *cm* et vingt mineurs travaillaient par-dessous.

Lorsque les sondages indiquaient une trop forte inclinaison du rocher, au lieu d'un seul grand puits, il en fallait deux, espacés de 2 mètres; le cube à extraire diminuait, mais les puits, plus légers, s'enfonçaient moins facilement et il fallut parfois les charger de cent tonnes de fonte; de plus, le puits d'arrière, poussé par la pression, se rapprochait trop de l'autre et rendait difficile l'extraction de la vase entre les deux.

Havre. — *Bassin Bellot.* — Les puits avaient $10 \times 6{,}70 \times 8$ mètres. Le vide intérieur mesurait $5{,}60 \times 2{,}30$ *m* et s'élargissait en cône présentant à la base $6{,}60 \times 3{,}30$ *m*. Sur 84 puits, un seul s'est brisé, parce qu'on n'avait pas attendu assez de temps avant de l'enfoncer. Le délai ordinaire était d'un mois.

Rochefort, 3me bassin. — La fondation des murs de quai et de l'écluse a nécessité la traversée d'un sol affouillable de 15 à 28 mètres d'épaisseur afin d'atteindre le solide. Cent puits ont été enfoncés dans le bassin et 42 dans l'écluse; les premiers qui ont 6×8 mètres d'épaisseur (la dernière dimension normalement au mur), servent de piles à des voûtes en plein cintre de 9,20 *m* d'ouverture, supportant le quai;

quelques-unes des piles, plus grandes, forment contreforts. Les puits de l'écluse soutiennent également des voûtes surbaissées au quart, de 6 mètres d'ouverture, sur lesquelles sont établis les bajoyers, buses et avant-radiers.

Une partie du havage s'est faite comme d'ordinaire à l'air libre, les épuisements s'opérant au pulsomètre.

Mais parfois il se produisait dans ces puits un siphonnement énergique et une rentrée de vases telle qu'elle a exigé l'emploi de l'air comprimé (fig. 141).

A 5 mètres au-dessus de la base du puits on ménageait sur le pourtour une cavité servant de point d'appui à une voûte en maçonnerie d'un mètre d'épaisseur, ouverte à son sommet d'un orifice d'un mètre de diamètre, continué en

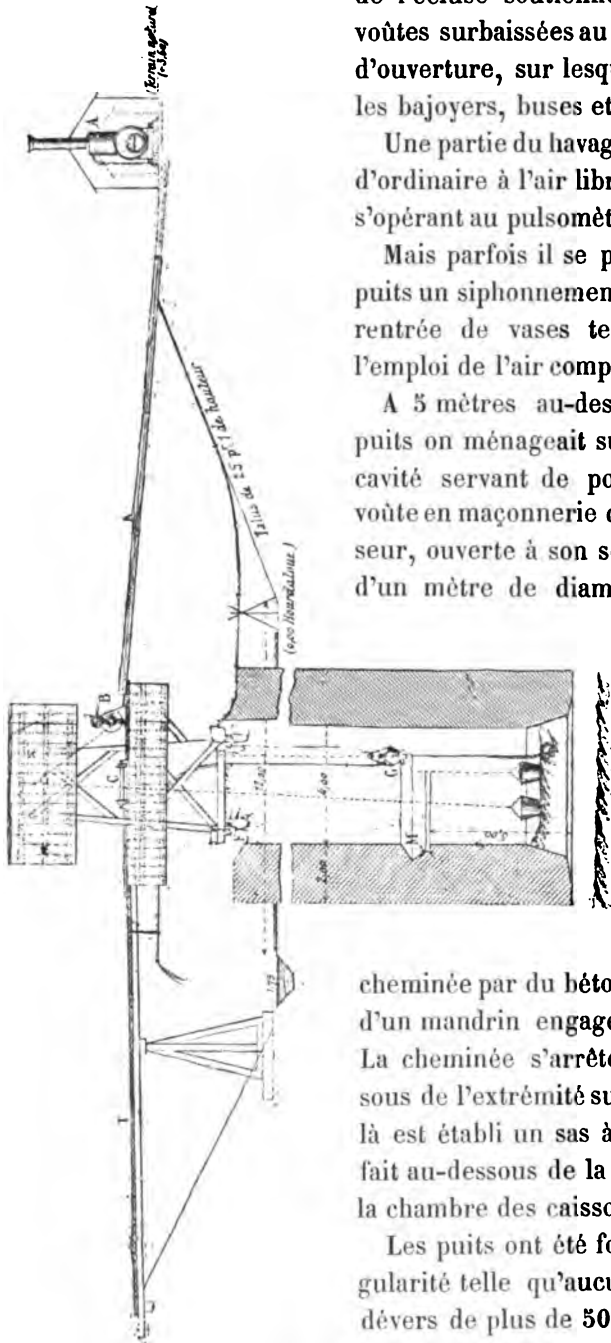


Fig. 141. — Rochefort. Quais du troisième bassin.

cheminée par du béton comprimé autour d'un mandrin engagé dans cet orifice. La cheminée s'arrête à 2,50 *m* au-dessous de l'extrémité supérieure du puits; là est établi un sas à air. Le travail se fait au-dessous de la voûte comme dans la chambre des caissons ordinaires.

Les puits ont été foncés avec une régularité telle qu'aucun n'a présenté un dévers de plus de 50 *cm*.

Sables-d'Olonne.— *Quai Guinée.* — Le mur du quai Guinée a été reconstruit sur une longueur de 120 mètres, par suite de l'approfondissement du port. Sa hauteur est de 12,47 à 15,47 *m*; il est fondé sur une couche d'argile compacte surmontée d'une couche de sable fin, et reposant à des profondeurs variant de 5 à 8 mètres sur le rocher.

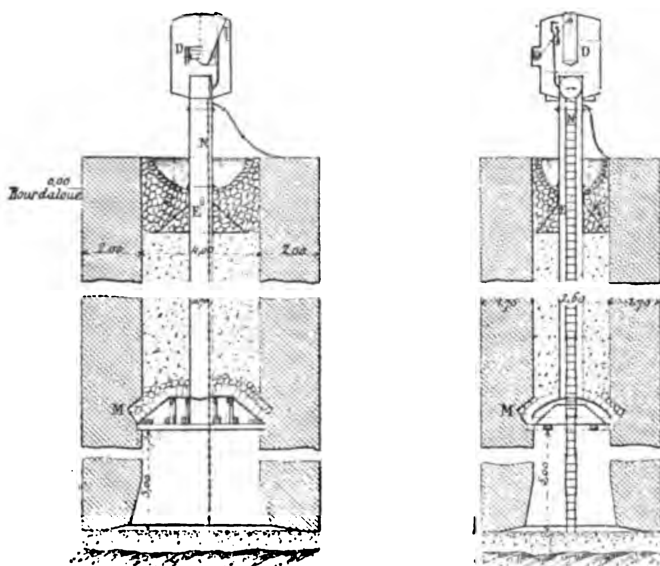
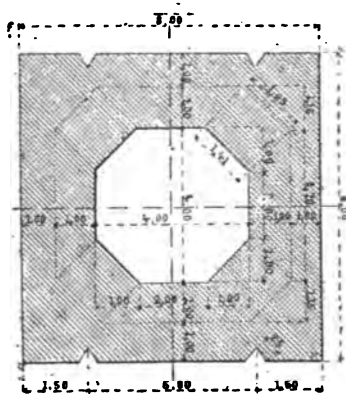


Fig. 141. — Rochefort. — Coupe d'un puits.

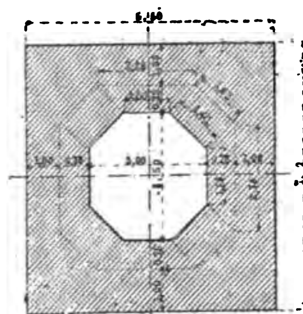
On a exécuté les fondations comme au troisième bassin de Rochefort, par des blocs en maçonnerie descendus par havage à l'aide de l'air comprimé. Les intervalles ont été remplis de béton à la marée au milieu d'un blindage formant puits.

Calais. — Les quais nord-est et sud-ouest du nouvel avant-port de Calais ont été fondés à la cote — 6,25 *m* sur des puits enfoncés par havage, l'excavation intérieure étant faite par une pompe centrifuge aspirante qui enlevait les sables fins boulants mis en suspension par des jets d'eau sous pression provenant de pompes foulantes (fig. 142).

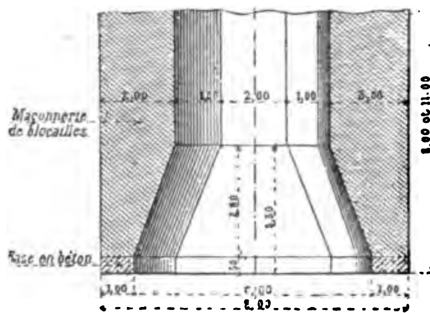
Les puits étaient construits sur le fond de la fouille à la cote — 1,25 *m* les plus grands ont 7 × 6,50 *m*; l'évidement intérieur a 5 × 4,50 *m* sur 50 *cm* de hauteur à partir de la base ; il est réduit à 3,50 × 3 mètres à 2,10 *m* au-dessus, et garde ces dimensions jusqu'au sommet. La forme en tronc de pyramide renversée a pour but d'assurer la résistance à la



Plan.

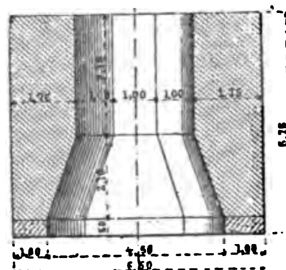


Plan.

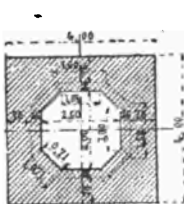


Coupe.

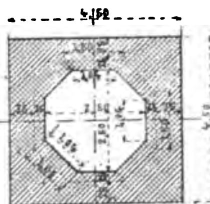
Puits de fondation.



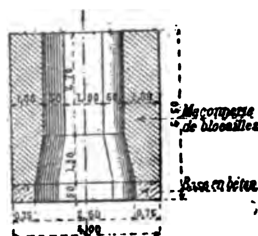
Coupe.



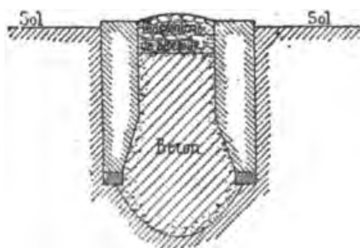
Plan.



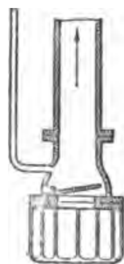
Plan.



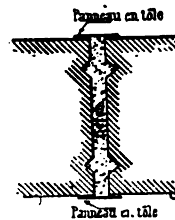
Coupe.



Remplissage des puits.



Lance de la boite à clapot.



Remplissage des joints des blocs.

Fig. 142. — Calais.

sous-pression, au moment du remplissage final en béton ; la section de l'évidement est à huit pans.

La pompe aspirante avait son tuyau d'aspiration au centre du puits. Quatre pompes foulantes, donnant 10 litres à la seconde, alimentaient

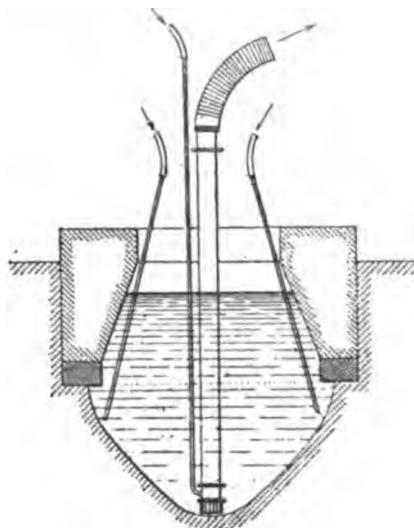


Fig. 142. — Calais. — Situation des lances.

douze lances. Huit étaient fixées au milieu de chacune des parois de l'évidement ; trois, débouchant autour de la crépine de la pompe aspirante, servaient à délayer le sable ; la quatrième était solidaire du tuyau d'aspiration et débouchait à sa base au-dessus du clapet de la crépine ; elle évitait les engorgements.

Le débit des pompes était réglé suivant l'enfoncement ; le niveau de l'eau dans le puits était maintenu presque à celui de la nappe extérieure, ce qui empêchait l'écoulement du sable.

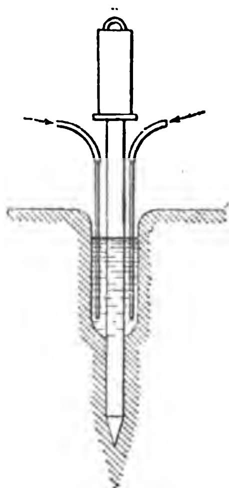
La cote voulue atteinte, le puits était rempli de béton, après tassement du sable.

Pour un enfoncement régulier, il fallait opérer sur les puits de deux en deux ; la série finie, on s'attaquait aux blocs intermédiaires. Tous étaient enfin réunis par du béton, coulé entre eux après clôture de l'intervalle par des feuilles de tôle et excavation de cet espace par le même moyen ; deux rainures pratiquées dans les faces extérieures assuraient cette liaison.

Le fonçage de ces blocs, sur une hauteur générale de 4,50 *m*, a duré en moyenne 22 heures. La dépense a été très minime.

Le succès obtenu à Calais par l'emploi de l'eau sous pression l'a fait aussi appliquer au battage des pieux et des palplanches.

Les premiers (fig. 143) s'enfoncent seuls sous l'action de l'eau, le mouton étant simplement posé sur leur tête.



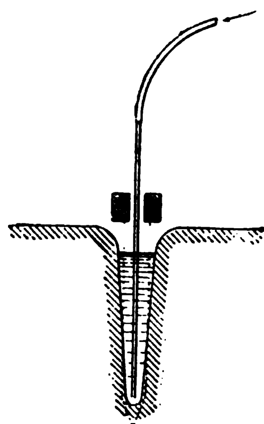


Fig. 143. Battage des pieux. — Calais. — Fig. 144. Battage des palplanches.

Pour les secondes (fig. 144), on fait agir les lances dans l'intervalle entre les pieux où elles doivent être enfoncées. Quand elles ont pénétré d'une profondeur à peu près égale à la longueur des palplanches, celles-ci sont toutes mises en place en même temps. Pour les faire pénétrer l'action de la sonnette est indispensable, tandis que les lances agissent de chaque côté du panneau.

Une équipe de dix hommes met en place dans une journée :

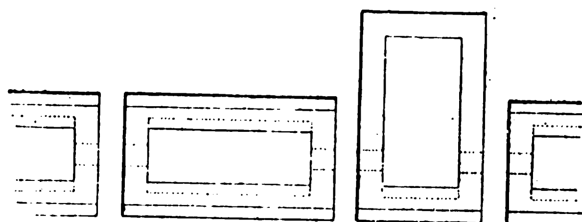
Cent pieux de $4,50 \times 0,25 \times 0,20\,m$.

ou 60 palplanches de $1,50 \times 0,30 \times 0,11\,m$.

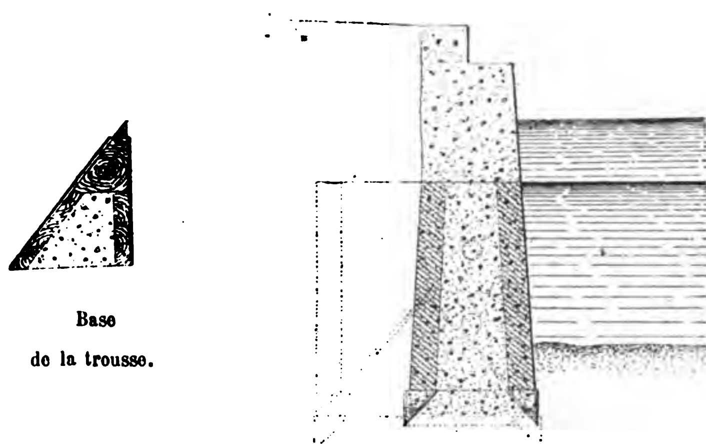
Lowestoft (fig. 145). — Le quai a 346 mètres de longueur; les 38 puits foncés avaient à la base $5,50 \times 3,20\,m$, au sommet $4,90 \times 2,60\,m$, sur une hauteur environ 7 mètres. Les blocs présentaient donc un fruit de $\frac{1}{20}$, ce qui facilitait l'enfoncement. Ils sont placés deux de suite avec leur grand côté dans le sens du quai, et le troisième normalement, servant de contrefort.

Les blocs sont construits sur une trousse en cône renversé dont la pointe inférieure est en fonte ; sur chaque côté de la pointe sont rivées

des plaques de tôle réunies par une forte pièce de bois. On obtient ainsi une plateforme de 75 *cm* de largeur, sur laquelle on construit le puits, dont les parois sont épaisses de 60 *cm*.



Plan des puits.



Base de la trousse.

Fig. 145. — Lowestoft. — Mur de quai. — Coupe.

A chaque angle interne et externe de la trousse on fixe des barres de fer qui délimitent la maçonnerie du puits et cette carcasse est garnie de palplanches entre lesquelles se coule le béton sur 1,50 *m* de hauteur. Après sept jours de durcissement, on remonte les palplanches extérieures; deux jours après commence le havage. La descente est guidée par des tiges de fer passant dans des châssis. On élève la maçonnerie à mesure, et les blocs sont reliés comme de coutume.

Le même procédé a été employé à *Felixstowe*, où les blocs qui ont 9 $\times$ 6 $\times$ 8,50 *m* et une épaisseur de 1,50 *m*, sont en béton. Ils n'étaient pas guidés.

A *Newcastle* on a construit en 1888 une portion de quai avec des blocs de 9 $\times$ 6 $\times$ 11 mètres, sans guides. Signalons que pour empêcher le

glissement de ces blocs vers le bassin pendant la construction, on recouvrait le fond de celui-ci de scories de cuivre qui le tassaient; elles furent draguées après l'achèvement du travail.

Hambourg. — *Dalmannquai* (fig. 146). — Ces quais ont été construits avec 6 mètres de largeur normale à l'alignement; ils sont en briques fondés par havage sur puits de 5,80 *m* de hauteur, avec 4,50 *m* de lon-

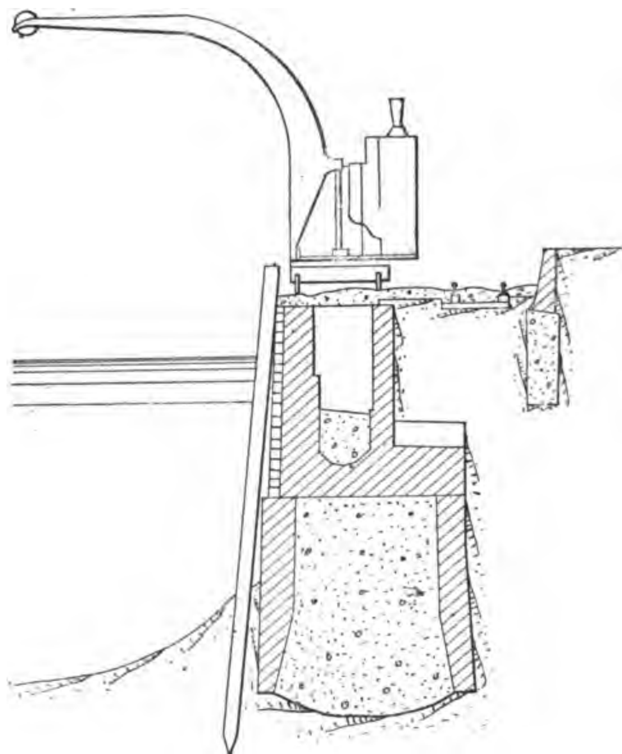


Fig. 146. — Hambourg. — Dalmannquai.

gueur et ont 79 *cm* d'épaisseur; le remplissage est en béton. Les puits sont espacés de 4,58 *m* et l'intervalle est recouvert d'une voûte de 80 *cm* d'épaisseur; en arrière du mur de quai une murette soutient le second rail de la voie des grues.

Havage de cylindres jumeaux. — Glasgow. — Nous décrivons le procédé tel qu'il a été employé au dernier bassin construit sur la Clyde, celui de Cessnock.

En principe, l'élément de la fondation est un cylindre creux de béton,

ayant 3,50 *m* et 2,35 *m* de diamètre extérieur et intérieur, construit sur un anneau en fonte de mêmes dimensions et portant en dessous à angle droit une paroi tranchante, le tout formant trousse. Le cylindre est maçonné par anneaux successifs de 75 *cm*. En réalité, trois de ces cylindres sont juxtaposés sur la même trousse; et deux groupes successifs sont posés comme l'indiquent les figures B, avec les bords contigus plans, pour mieux se rejoindre (fig. 149).

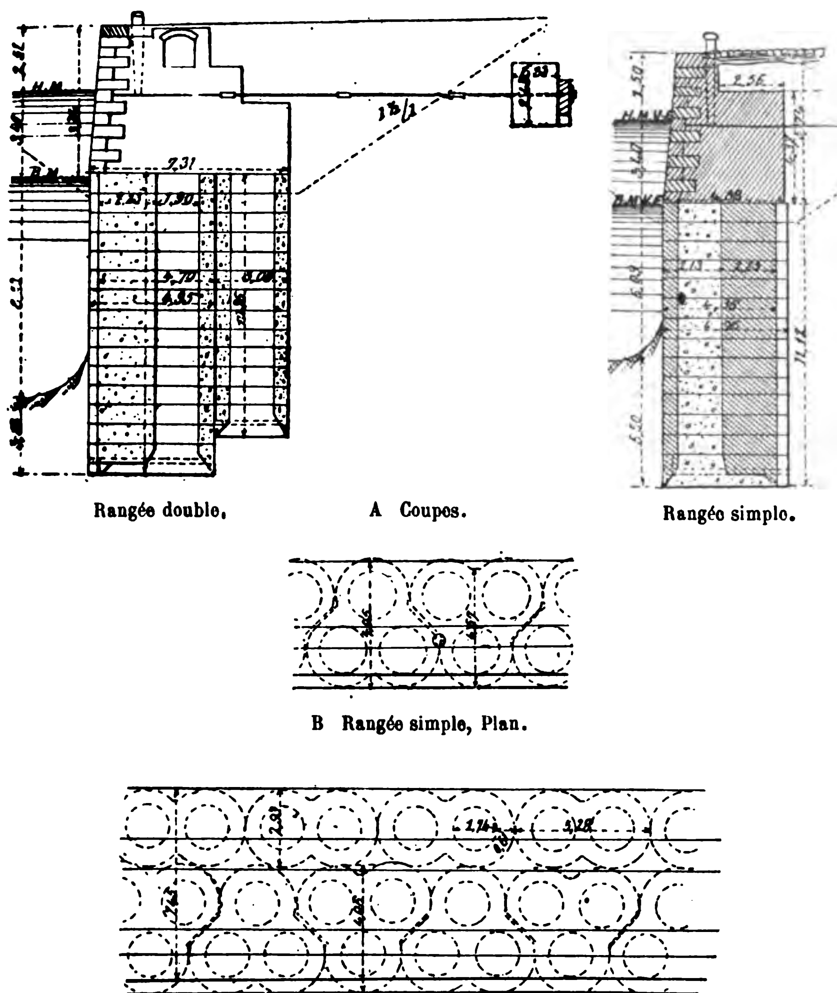


Fig. 149. — Quais de Cessnock. — Rangée double. — B Plan des cylindres.

On procède par havage; les cylindres étant placés sur le sol sont dragués à l'intérieur par un excavateur Milroy, semblable aux clam-

shells décrits, et ils s'enfoncent peu à peu ; on aide au mouvement de descente par des charges en anneaux de fonte qui arrivent à 600 tonnes.

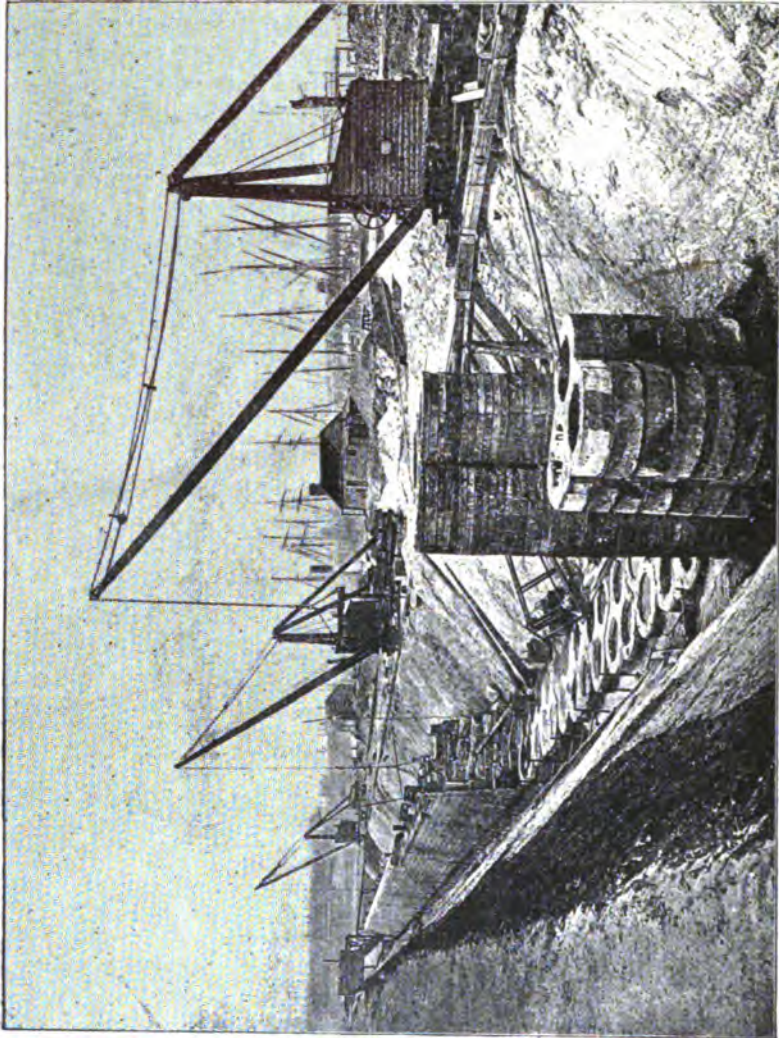


Fig. 150 — Vue des quais de Cessnock dock en construction.

Quand le cylindre est arrivé au terme de sa course (à 18 mètres à Cessnock) l'intérieur des cylindres est rempli par du béton coulé en place, dans lequel à l'entrée et aux angles des quais on noie des rails en acier qui relient les cylindres entre eux (fig. 150 et 151).

Pour les quais qui ont à leur pied une grande profondeur d'eau, on renforce la fondation par une rangée de cylindres réunis deux par deux.

Avec les cylindres triples seuls, l'épaisseur de la fondation est de 5,75 *m*; avec la rangée de renfort, elle atteint 8 mètres.

Les joints entre les cylindres sont fermés par des pilots battus tout contre.

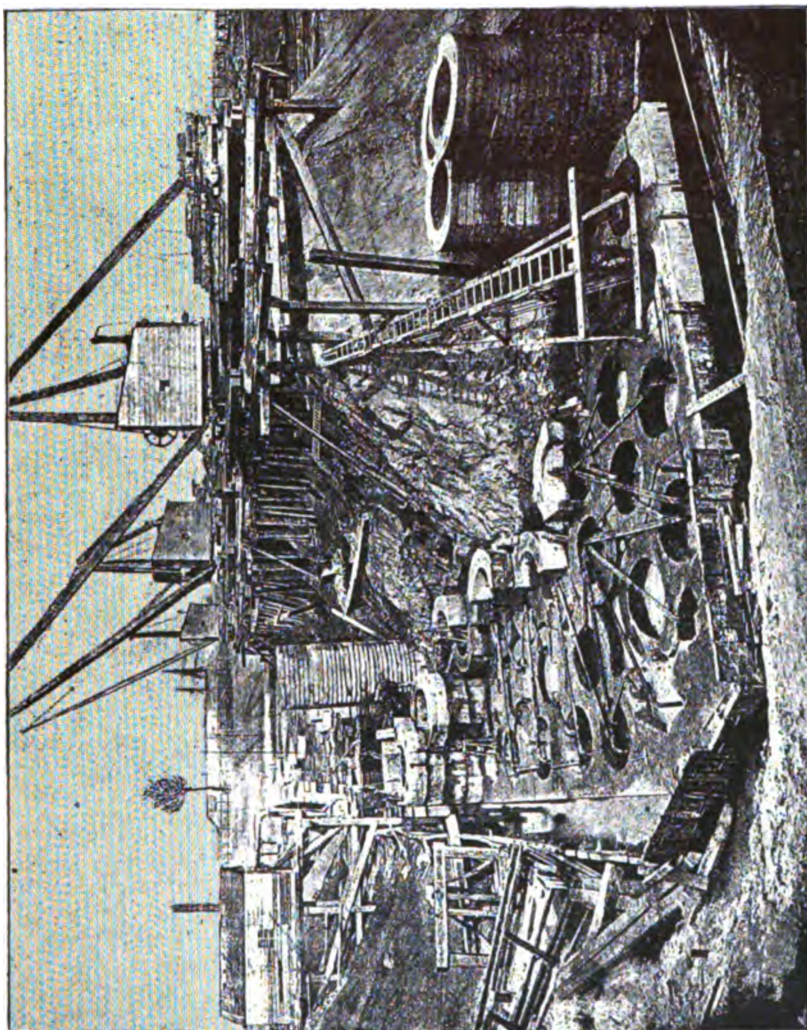


Fig. 151. — Vue des quais de Cessnock dock en construction.

QUAIS EN EAU PROFONDE

Les fondations des quais en eau profonde se font à peu près par les mêmes procédés que ceux établis à sec, mais avec des précautions spéciales.

Béton coulé. — Dans la partie maritime des fleuves, où l'on peut employer d'autres ciments que celui de Portland, le coulage du béton sous l'eau est une opération aisée. Il en est de même dans la Méditerranée où les mortiers ont pour base la chaux du Teil et les pouzzolanes d'Italie ; les exemples de quais en béton coulé directement dans une enceinte de pieux et palplanches y sont nombreux. Parfois, à ces enceintes on substitue des caisses sans fond à bords inférieurs découpés pour s'adapter aux sinuosités du lit de la mer.

Ce coulage direct ne doit s'effectuer que sur un fond rocheux, solide et débarrassé de vase ; autrement, on constitue un enrochement nivelé avec de menues pierrailles et qu'on laisse longtemps se tasser. Mais le résultat, dans ce cas, n'est guère satisfaisant.

Dans les ports de l'Océan, les fondations de certains quais ont été effectuées en béton coulé sous l'eau, mais les mortiers se composent alors de chaux hydraulique ordinaire et de trass de Hollande, mélange assez liant. En France, le béton de ciment de Portland à l'état frais ne se coule guère sous l'eau ; en Angleterre il est d'usage courant aussi bien pour les murs de quai que pour les môles.

On peut citer le quai de Blyth (1881-1884), construit derrière une enceinte de pieux et palplanches, ceux de l'Albert Dock de Londres, de l'Hornby Dock de Liverpool (fig. 152). En général, ces bétons sont même très maigres, mais aux parements on force la proportion de ciment. Ainsi à Tilbury les murs des quais, de l'écluse, des formes de radoub sont en béton ne contenant que $\frac{1}{11}$ de ciment de Portland ; mais cette proportion monte au quart pour les parements au-dessous de l'eau, tandis que les faces émergées sont en briques bleues.

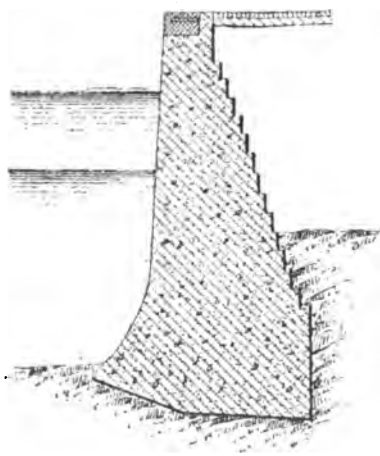


Fig. 152. — Hornby dock, Liverpool. Mur de quai.

Blocs artificiels. — En France, on préfère employer le ciment sous la forme de blocs artificiels durcis avant leur emploi.

Marseille. — Primitivement, on avait établi à la place du quai un enrochement arasé à la cote — 6 mètres. Sur cette base, large de neuf mètres, et en laissant une berme composée de pierres assez grosses pour n'être pas remuées, on a construit un mur vertical avec quatre blocs artificiels à joints contrariés, et dont les dimensions sont $3{,}40 \times 2 \times 1{,}50$ *m*, de façon que la base supérieure atteignait le niveau de l'eau ; on construisait au-dessus le mur de quai en maçonnerie.

La profondeur de 6 mètres n'était pas suffisante ; on l'a portée ensuite à 7 mètres, mais il faudra encore l'augmenter, à cause de la progression incessante des dimensions des navires.

Ajaccio. — La figure 153 représente le mur construit en avant de l'ancien quai à Ajaccio.

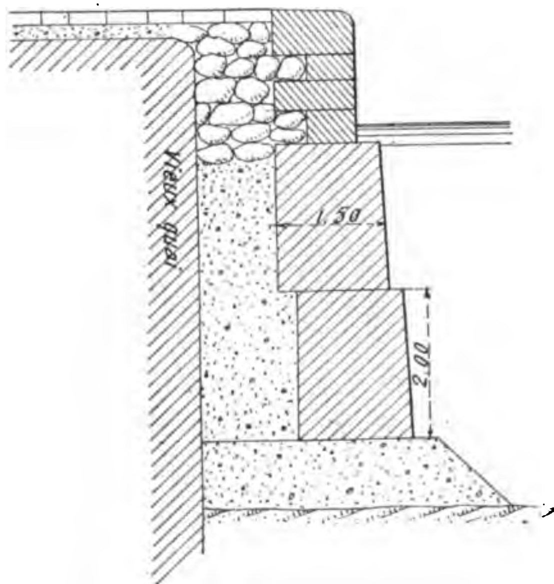


Fig. 153. — Ajaccio. — Mur de quai.

Gênes (fig. 154). — L'enrochement est arasé à la cote — 7,50 *m*. Les blocs ont $4 \times 2 \times 1{,}75$ *m* et s'arrêtent donc à 50 *cm* au-dessous du niveau de l'eau; la maçonnerie a été construite à partir de ce niveau. Le comblement est en moellons sur la moitié de la hauteur.

Barcelone (fig. 155). — Le système est le même, mais les blocs sont évidés ; ils ont $3{,}75 \times 2 \times 2\,m = 15$ mètres cubes ; le volume du vide est de $2{,}13\,m^3$ et l'économie de béton qui en résulte est supérieure

à la dépense des cintres de l'évidement. Ce système n'est admissible qu'avec de bons matériaux de comblement.

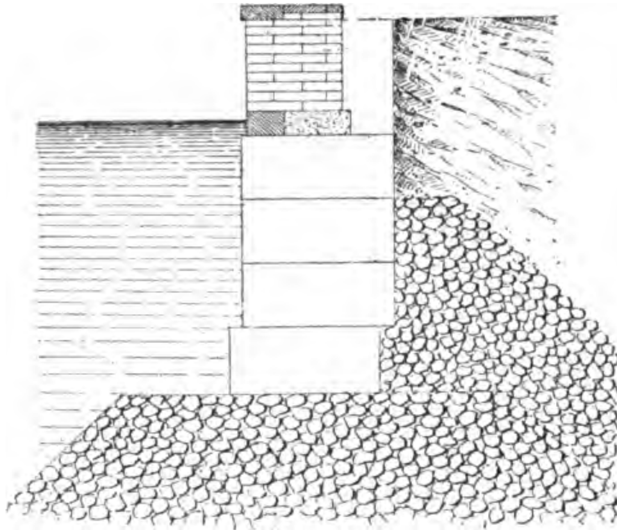
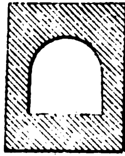


Fig. 154. — Gênes. — Mur de quai.



Coupe d'un bloc des murs de quai.

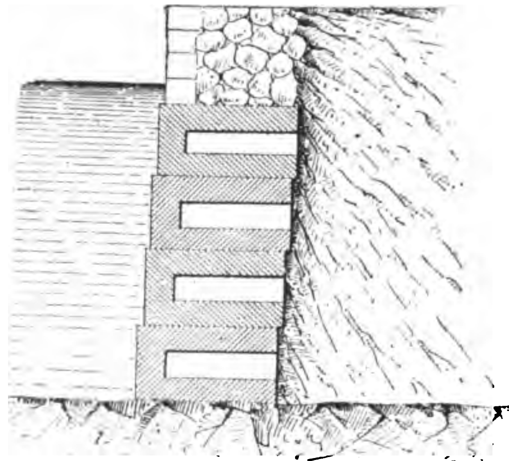
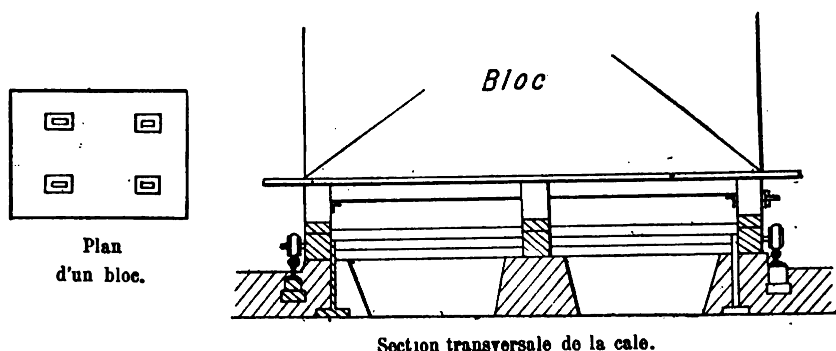


Fig. 155. — Barcelone. — Murs de quai en blocs évidés.

Brest. — Au port de commerce de Brest, la fondation se compose d'un enrochement arasé à la cote — 4,80 *m* surmonté de deux blocs cubant $5 \times 3 \times 3\ m = 45$ mètres cubes et faisant ensemble une hauteur de 6 mètres, ce qui porte la base supérieure à la cote $+ 1,20\ m$. Le fond rocheux était recouvert d'une couche de vase arrivant à la cote

— 13 mètres. Dans le principe, on se contentait de draguer jusqu'à — 8 ou — 9 mètres et de remplir la fouille par l'enrochement sur lequel on construisait après tassement; mais la confection du remblai amena la dislocation des murs. On dut draguer jusqu'au rocher, et l'on obtint alors la solidité voulue.



Section transversale de la cale.

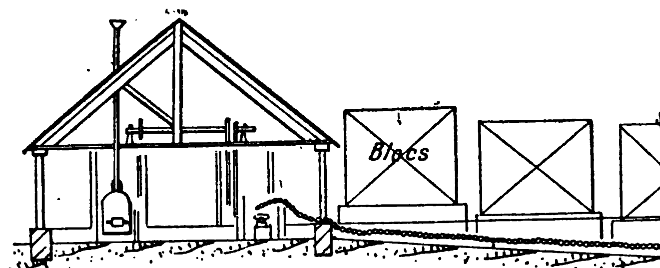


Fig. 156. — Brest. — Coupe longitudinale de la cale de glissement.

Le travail de confection des blocs sur des grèves d'échouage oblige à un travail de marée très pressé; à chaque abandon du travail, il faut rejointoyer avec du ciment à prise rapide et recouvrir la partie supérieure; les maçonneries sèchent difficilement et les reprises laissent toujours à désirer.

On a donc été amené à construire les blocs hors de l'eau, comme à Alger. Mais leur poids considérable, 100 tonnes, a fait renoncer à l'emploi des trucs sur rails ; les blocs étaient construits sur des plateformes ou bers qui descendaient sur une cale de glissement, de 115 mètres de longueur, composée de trois cours de longrines espacées de 2,37 *m* et supportées par des murettes. La cale contenait une trentaine de blocs (fig. 156).

La plateforme était halée par une chaine commandée par un treuil et

jusqu'à une profondeur suffisante pour que le chaland porteur pût venir se placer au-dessus.

Ce chaland en tôle porte deux puits dans lesquels descendent quatre chaînes déroulées de treuils et portant chacune à leur extrémité une tige de fer terminée en T. Ces tiges pénétraient dans des cheminées de 12×40 *cm* de section descendant presque jusqu'à la base du bloc dans une cavité où s'encastrait une pièce de bois. En tournant le T le bloc était saisi et le chaland allait le déposer.

La moyenne des blocs transportés mensuellement était de trente; ils servaient à établir 45 mètres de quais.

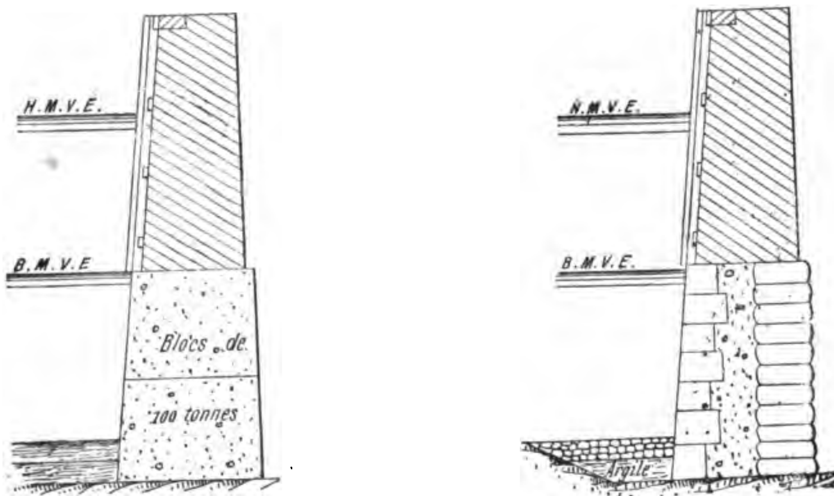


Fig. 157. — Quais de Greenore.

Greenore. — On a employé successivement à Greenore deux systèmes différents de fondation des quais (fig. 157).

Le premier avec des sacs de béton vers la terre et des blocs de trois tonnes au parement; le second avec deux assises de blocs artificiels de 100 tonnes. Ceux-ci, longs de 3 mètres, étaient descendus au moyen de pontons et mis en place par des plongeurs. La figure 247, vol. I fait comprendre l'installation. Les blocs étaient construits juste au-dessus du niveau de basse-mer. Une heure ou deux avant la haute mer, les chalands se portaient au-dessus, on faisait passer les barres de fer de levage dans les trous ménagés dans les blocs et on serrait les chaînes; le bloc était soulevé à mer haute.

Dublin (fig. 158). — A Dublin, les blocs employés forment à eux seuls toute la profondeur; ils ont 8,80 × 3,50 × 6,50 *m* et pèsent 350 tonnes; on les laissait sécher trois mois avant de les poser par une grue flottante. Ce système est très avantageux, mais ne peut s'appliquer que lorsque le travail est assez important pour payer le matériel considérable qu'il exige.

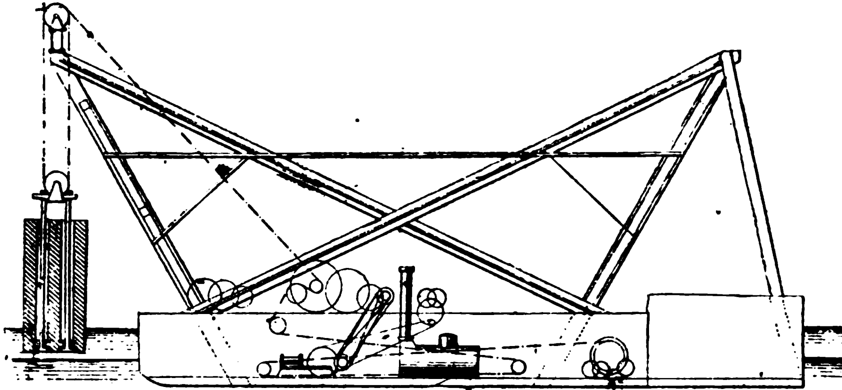


Fig. 158. — Quais de Dublin. — Pose des blocs. — Coupe longitudinale.

Cork. — Le mur se composait en majeure partie de blocs superposés (fig. 159), placés par une grue flottante.

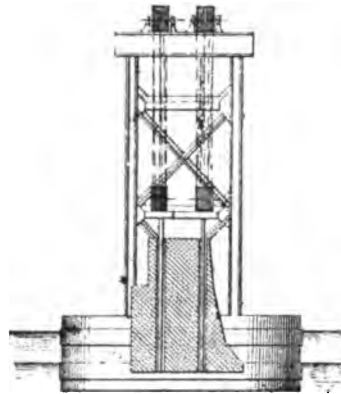


Fig. 158. — Dublin.
Pose des blocs — Coupe transversale

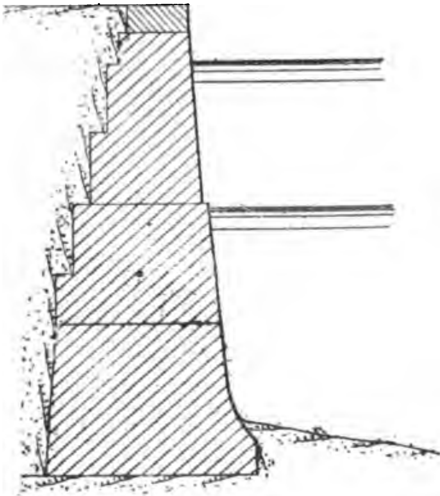


Fig. 159. - Quai de Cork.

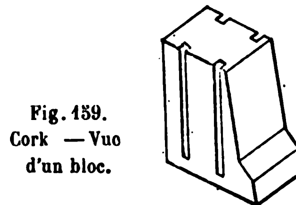


Fig. 159.
Cork — Vue d'un bloc.

Les barres de suspension passaient dans des rainures verticales de

3 mètres de longueur et 125 millimètres de côté ; elles étaient terminées par un œil qui s'emboîtait dans une tige de fer horizontale traversant le bloc dans une rigole ménagée près de la base ; cette tige était enlevée après la pose et les rainures de deux blocs juxtaposés étaient rendues solidaires par l'enfoncement de clefs en pierre dure.

Mormugao (fig. 160). — Le mur a été établi par des profondeurs de 7,30 *m*. Il est construit en blocs inclinés comme le môle. Une grue ordinaire de 25 tonnes a suffi pour leur pose.

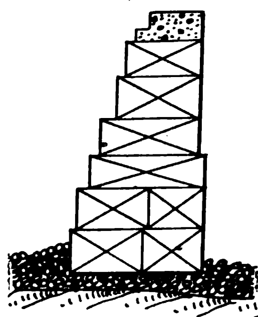


Fig. 160. — Mormugao.

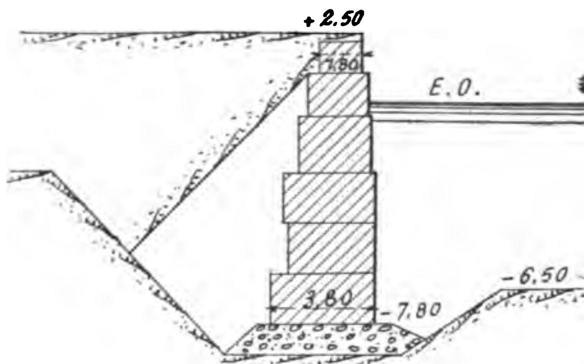


Fig. 161. — Sfax. — Quai Nord-Est.

Sfax (fig. 161). — La profondeur à basse mer n'était que de 6,50 *m*. (Amplitude extrême de la marée 1,57 *m*). Les fondations sont descendues à la cote — 7,80 *m* en vue d'un approfondissement ultérieur. Les blocs inférieurs pèsent 27 tonnes.

Disposition des assises. — Aux premiers quais construits en blocs artificiels (Cette) les blocs étaient posés à joints contrariés, pour assurer une meilleure liaison ; mais on reconnut vite qu'une telle disposition était plutôt dangereuse, parce que la résistance du fond n'est pas partout égale et que les blocs supérieurs peuvent rester en surplomb en cas de tassement de ceux placés au-dessous. Maintenant on préfère construire par assises superposées et indépendantes, qui peuvent céder de différente façon sans compromettre la stabilité générale. En Italie surtout, on a développé ce mode de construction à Gênes, à Naples, et dans presque tous les ports récemment reconstruits (Brindisi, Venise, etc.) (fig. 162). Il faut veiller avec soin sur la maçonnerie de superstructure pour la réparer en sous-œuvre en cas d'affaissement.

A Livourne, pour le quai degli Annelli, M. Luiggi a pensé qu'il y aurait avantage à adopter un profil se rapprochant de celui d'égale résistance, même en se résignant à le construire à l'air comprimé. Ce profil (fig. 163) a l'avantage de permettre l'accostage des grands navires. Comme l'entreprise a été donnée aux constructeurs déjà établis à Livourne pour la prolongation du bassin de ra-

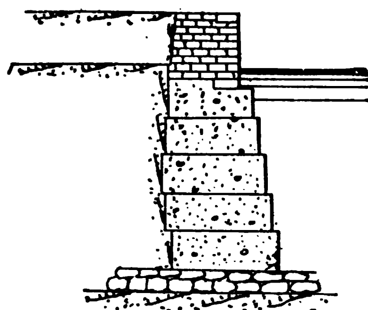


Fig. 162. — Quai de Venise.

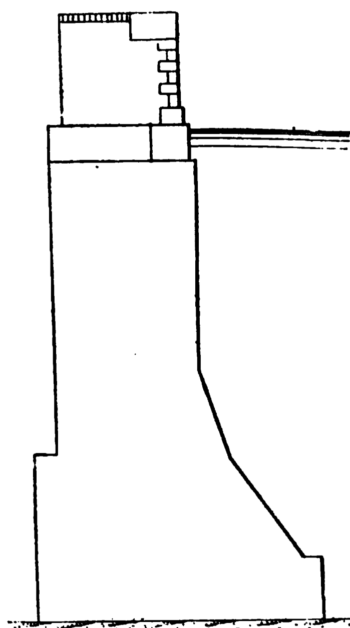


Fig. 163. — Quai degli Annelli, Livourne

doub, on a pu obtenir des prix très réduits (26 francs le mètre cube de maçonnerie, 10 francs celui de déblai).

PILOTIS

Rouen (fig. 164). — Le quai de la Bourse, à Rouen, a été fondé sur des pieux dont le pied touche un banc de craie situé à une quinzaine de mètres au-dessous du niveau des hautes eaux. Ce banc est recouvert d'une couche de gravier vaseux dont l'épaisseur varie de 0 à 7 mètres. La hauteur de l'arête du quai au-dessus des basses eaux était fixée à 4,73 *m* ; le tirant d'eau minimum devant être de 5 mètres, le parement avait donc une longueur verticale de 9,73 *m*. Le talus de la rive a été réglé à 3 de base pour 2 de hauteur et le pilot extérieur devait le rencontrer à la profondeur de 5 mètres. Suivant les cas, on a été obligé de draguer ou au contraire de remblayer avec des débris crayeux pour former ce talus.

Dans le sol ainsi préparé, on a battu des pieux de 40 *cm* de diamètre, espacés de 90 *cm*. Quatre files, distantes de 1,50 *m* et dont trois

sont inclinées à $\frac{1}{8}$, supportent le mur de quai par une plateforme. Ces pieux ont de 11 à 12 mètres de longueur et 7,50 *m* de fiche ; ils sont recépés à 70 *cm* au-dessous des basses eaux. Un contre-mur est établi

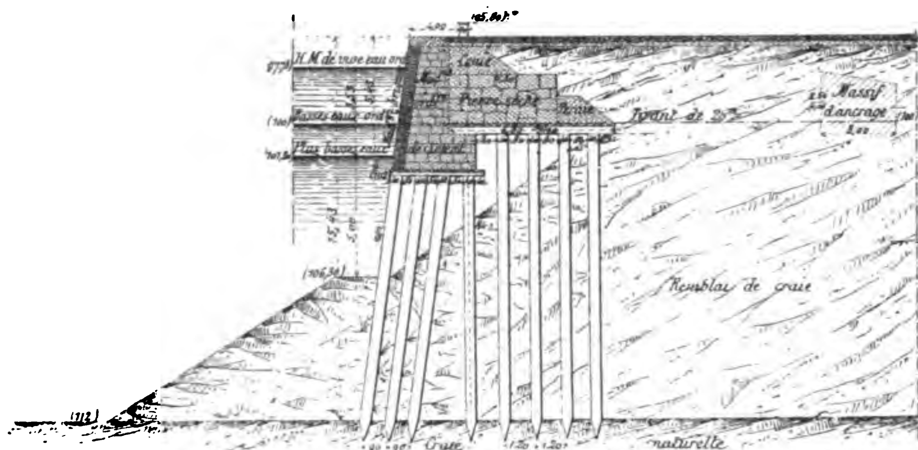


Fig. 164. — Quais de Rouen.

sur quatre files de pieux plus longs ; il reçoit la faible poussée du terre-plein. Des tirants en tôle, de 26 *cm* de largeur et 2 *cm* d'épaisseur relient le mur à des massifs d'ancrage situés à 20 mètres en arrière et cubant 21 mètres cubes.

New-York. — Une partie des quais de New-York est construite d'après un système composite qui répartit sur des pilotis et un enrochement la poussée du terre-plein. La profondeur de vase est telle que les pieux n'atteignent pas le sol solide et ne se soutiennent que par le frottement.

On battait d'abord les pieux. Les trois premières rangées sont recépées à 4,65 *m* au-dessous du niveau des basses eaux. Les autres s'élèvent à ce niveau même et supportent une plateforme contre laquelle butent également des pieux inclinés à 65°. Tous les pilots verticaux sont réunis par des moises à la cote — 4,75 *m*.

Les pieux enfoncés, on jetait l'enrochement qui se tenait sous son talus naturel en arrière. Il s'appuie en avant contre le parement du quai, formé par un bloc reposant sur les trois rangées de pilots extérieurs, avec interposition d'un mince sac de béton. Ce bloc mesure 3,66 *m* de longueur ; l'épaisseur est de 2,15 *m* à la base, 1,50 *m* au sommet ; la hauteur est de 4 mètres avec une échancrure de 30 *cm* en

avant ; il pèse 70 tonnes ; au-dessus on en élève d'autres moindres, achevant le parement.

Le gros bloc était posé par une grue flottante ; les chaînes de levage passaient dans des cannelures latérales qui se correspondent d'un bloc à l'autre et étaient en définitive remplies de béton formant clef.

CAISSONS OUVERTS

Rouen. — Les pilots qui supportent le mur du quai de la Bourse (voir ci-dessus) sont recépés à 70 *cm* au-dessous des basses eaux ; ils portent des plateformes de 20,60 *m* de longueur sur 3,63 *m* de largeur et 16 *cm* d'épaisseur, placées bout à bout avec 31 *cm* de vide intermédiaire. Ces plateformes sont donc sous l'eau ; le mur de quai est construit au-dessus, par longueurs de 21 mètres, dans des caissons étanches à fond mobile ayant les dimensions de la plateforme et 3,29 *m* de hauteur. Leur fond est formé de deux lits de madriers cloués ensemble avec interposition d'une double feuille de papier goudronné. Les parois verticales sont en madriers de 8 *cm* ; les grandes, de 21 mètres de longueur, sont composées de trois panneaux s'emboîtant dans les rainures de poteaux d'union ; des traverses en sapin, 28 tirants en fer assurent les liaisons, ainsi que des moises et des croix de Saint-André. Le caisson calfaté et lancé à l'eau cale 40 *cm*; quand il est en place, on y construit le mur de quai, puis on enlève les parois latérales.

Anvers. — Les quais Godefroid et de l'Entrepôt à Anvers ont été reconstruits par un ingénieux procédé. Sur un caisson de tôle sans fond inférieur mesurant $7 \times 4{,}50 \times 2{,}40$ *m* se boulonnait un autre pareil, mais sans fond supérieur et à parois assez hautes pour dépasser le niveau de l'eau. Par des cheminées on remplissait de béton le caisson inférieur, puis on construisait la maçonnerie du mur à sec dans le compartiment supérieur. Des plongeurs déboulonnaient celui-ci qui était enlevé.

L'étanchéité du joint entre les deux parties s'obtenait par l'interposition d'une feuille de caoutchouc. Deux sections consécutives distantes d'un mètre étaient réunies par du béton coulé entre des palplanches.

Le remplissage du caisson inférieur ne pouvait être bien exécuté;

c'est la partie difficile, même des fondations construites avec l'aide de l'air comprimé.

Greenock. — Les quais de l'Albert basin ont été fondés sur un substratum de moellons bien nivelés posés, après dragage convenable, sur une largeur de 7,60 *m* et une épaisseur de 2 mètres. A terre étaient construits des blocs creux en maçonnerie de 12,20 *m* de longueur, 5,50 *m* de largeur et 60 *cm* d'épaisseur aux parois, ouverts par en haut. Après calfatage, ils étaient lancés et amenés flottants à leur place, où on les immergeait en les remplissant de béton. Leur hauteur, 6,60 *m*, était telle qu'ils dépassaient de 60 *cm* le niveau des basses mers, moment où avait lieu le remplissage. Sur cette base le mur s'élevait en béton avec parement de maçonnerie de moellons.

C'est, appliqué aux quais, le système qui a été employé plus tard à la digue de Copenhague et au môle de Heyst.

QUAIS SUR VOUTES

Les quais établis sur un sol vaseux résistent difficilement au glissement latéral. On a essayé de la fondation sur pilotis, avec liaison de la maçonnerie par des tirants à des pieux battus en arrière à de grandes distances ou même à d'anciens murs; on n'a éprouvé le plus souvent que des déboires (Bordeaux).

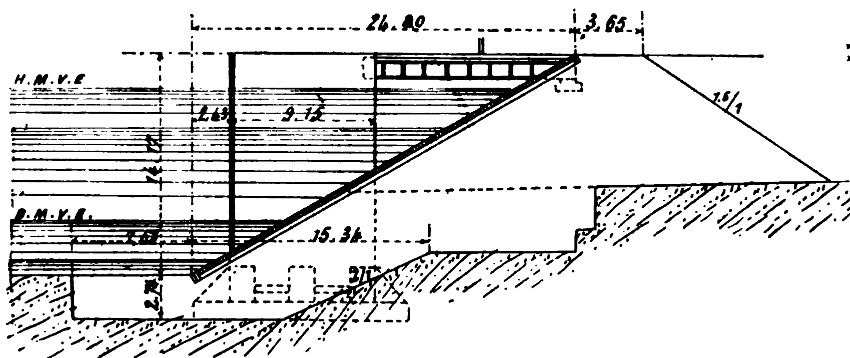
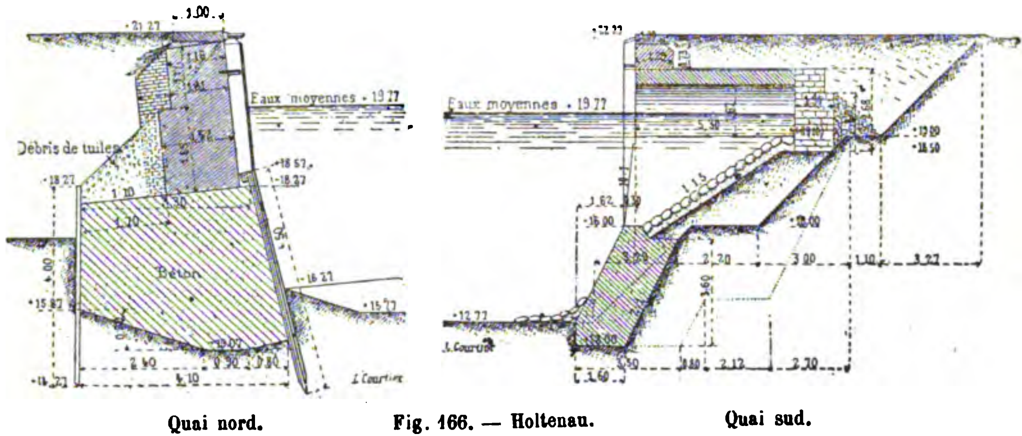


Fig. 165. — Quais sur voûtes

Les quais ont été alors construits comme des viaducs, sur des voûtes; les piles sont portées par des séries de pilotis dont les grillages en redans se profilent suivant le talus de la vase (fig. 165). On écartait

ainsi autant que possible la poussée latérale. Des quais de cette nature ont été édifiés sur la Charente maritime, à Great Grimsby, à l'Entrepothaven et au quai est du Spoorweghaven de Rotterdam.

Le procédé ayant été perfectionné aux derniers quais verticaux de Bordeaux, la description de leur construction, déjà faite, sert d'exemple du système.



Quai nord. Fig. 166. — Holtenau. Quai sud.

Les figures 167 et 168 indiquent les types adoptés durant la deuxième période.

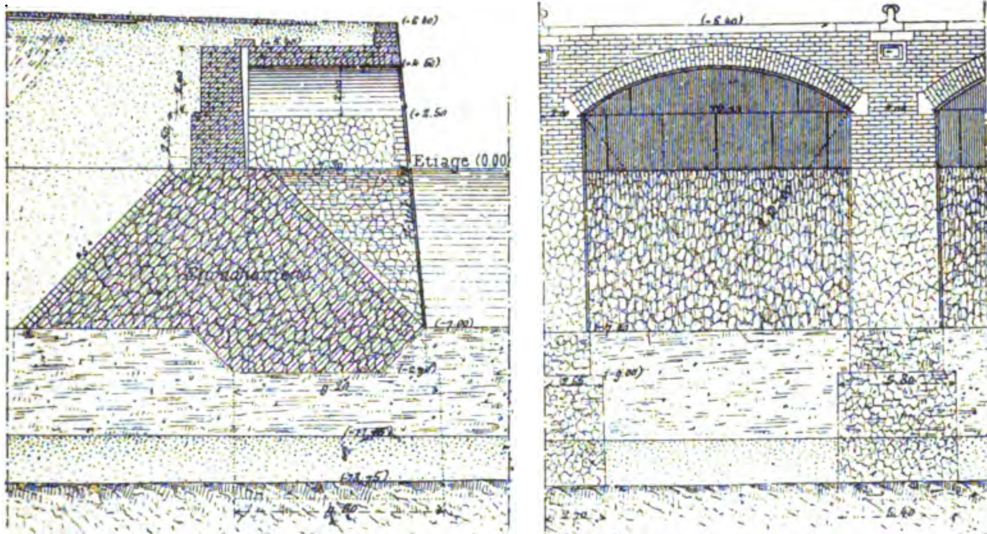


Fig. 167. — Profil en travers sur l'axe d'une voûte. Bordeaux, 2e période. Fig. 168. — Elévation des quais.

Les murs de quai du port intérieur d'Holtenau, établi à l'entrée du canal de l'Empereur Guillaume du côté de Kiel, sont représentés par les figures **166**. La première indique le mur du quai nord, formé d'un massif continu reposant sur une fondation en béton. L'autre est la coupe sur l'axe de l'une des voûtes en maçonnerie, de 5 mètres d'ouverture, qui constituent le quai avec des piles intermédiaires de 3 mètres d'épaisseur.

MURS SUR ENROCHEMENTS

Trieste. — A Trieste le terrain, comme à New-York, se composait d'une épaisseur de vase indéfinie. On a dragué une cuvette qui était remplie d'enrochements recouverts d'une couche générale de matériaux calcaires ; les remblais achevés étaient bordés de murs formés par quatre blocs artificiels de dix mètres cubes et 1,50 *m* de hauteur.

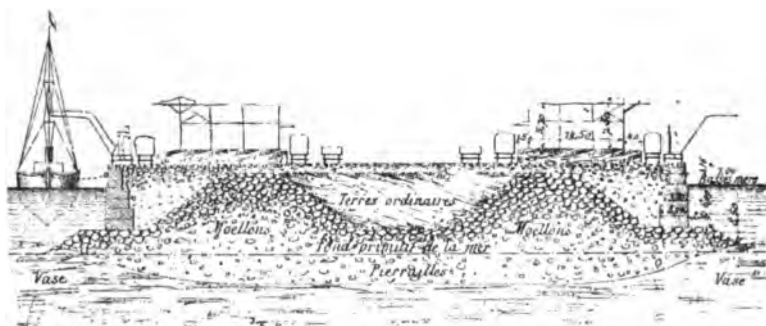


Fig. 169. — Trieste. — Mur de quai.

La compression exercée par ces matériaux refoulait la vase et formait autour des murs des bourrelets qu'il fallait draguer, opération qui facilitait encore la poussée. On a dû ajouter des blocs, établir des contreforts et malgré tout, il a fallu reconstruire la majeure partie des quais, après tassement (fig. 169).

Un meilleur résultat aurait été obtenu par un dragage profond ; la fouille aurait été chargée d'enrochements sur lesquels on n'aurait construit qu'après tassement.

Fondations par injection de ciment. — M. Neukirch a appliqué à Vegesack, près de Brême, un procédé d'injection de ciment en poudre par l'air comprimé, dans le sable ou le gravier du sol.

On fait pénétrer par injection d'eau ou d'air comprimé, jusqu'à la profondeur voulue, un tuyau de 38 *mm* de diamètre intérieur, étiré à son extrémité qui est percée de trous de 9 *mm* de diamètre. Ce tuyau, à sa partie libre, est réuni d'une part au moyen d'un tube de caoutchouc avec le compresseur d'air, d'autre part avec un distributeur du ciment, qui est entraîné par l'air. Le ciment agglomère les grains de sable.

On solidifie ainsi successivement des carrés de 20 à 25 centimètres de côté au milieu desquels on enfonce le tube. Celui-ci, pour la commodité de l'opération, est suspendu à un trépied ou à une grue roulante.

L'air doit être chauffé dans le voisinage du distributeur de ciment pour éviter que le refroidissement dû à la détente ne produise la précipitation de la vapeur d'eau qui agglomérerait le ciment dans le tuyau. On se sert à cet effet d'un poêle au travers duquel passe le tube dans une cavité cylindrique.

On opère dans une enceinte de pieux et palplanches, pour délimiter la fondation.

Ce procédé ne semble qu'une réminiscence de ceux de M. Kinipple.

ACCIDENTS SURVENUS AUX MURS DE QUAI

La plupart des accidents survenus aux murs de quai sont dus à la mauvaise qualité du terrain de fondation et à la nature des matériaux de comblement. Nous en citerons quelques-uns.

Avonmouth. — Ce quai, de 12 mètres de hauteur, fut fondé sur un lit d'argile bleue recouvrant une couche de sable ; le parement, en pierres de taille, est profilé avec un talus de $\frac{1}{12}$, le reste est en maçonnerie de moellons, avec noyau de béton. L'épaisseur à la base était de 5 mètres, soit 0,40 de la hauteur ; elle était encore de 3,15 *m* au sommet ; le mur reposait sur un massif de béton de 6,50 *m* de largeur.

On peut remarquer qu'il eût mieux valu diminuer l'épaisseur au sommet et augmenter celle de la base, qui avec la même section aurait pu avoir 6 à 7 mètres ; la partie supérieure n'en aurait pas été affaiblie.

Une partie du mur, de 80 mètres de longueur, céda pendant la construction; on reconnut qu'en cet endroit, au-dessous de la couche argileuse, existait un dépôt vaseux, sans doute le lit comblé d'un ancien cours d'eau. Le mur avait glissé en avant de 4 mètres et s'était enfoncé de 1,40 *m*. La partie restée en place s'était elle-même inclinée, son fruit ayant passé de $\frac{1}{24}$ à $\frac{1}{12}$. On adopta alors un profil avec parement circulaire, fondé sur la couche de sable inférieure ; la portion ainsi construite n'a éprouvé que quelques tassements sans importance.

Les deux murs en question avaient été établis sur le fond même du bassin; une troisième section l'a été en tranchée.

Là encore, une longueur de 140 mètres a glissé en avant de 4,70 *m* et s'est effondrée de 2,30 *m*, pour les mêmes causes.

Le premier mur écroulé a été rebâti; il est peut-être utile de noter que malgré la gravité du second cas, on s'est contenté de réparer la portion écroulée en l'appuyant du côté du bassin d'un revêtement de briques d'un mètre d'épaisseur et de 4,50 *m* de hauteur et en soulageant la poussée par la construction de cinq massifs en béton de la hauteur même du mur, au milieu du remblai. Ces massifs ont été construits sur pilotis vissés, pour éviter l'ébranlement qu'aurait produit le choc du mouton. Ces travaux rapidement terminés, on se hâta de remplir le bassin.

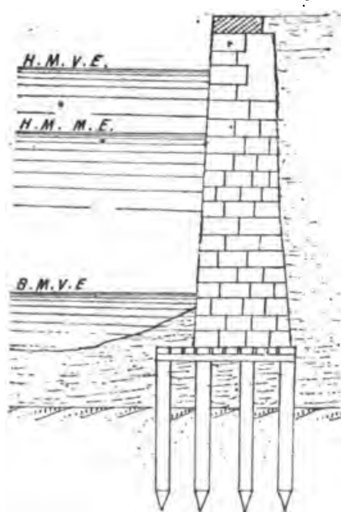


Fig. 170. — Belfast. — Mur primitif.

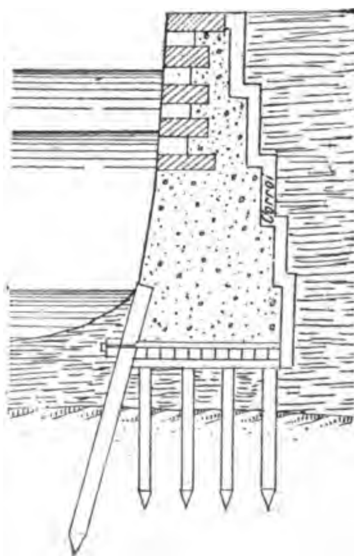


Fig. 171. — Belfast. — Mur reconstruit.

Belfast. — Les quais des bassins Dufferin et Spencer (fig. **170**) ont été établis dans un terrain vaseux sur quatre rangées de pieux de **4,50** *m*

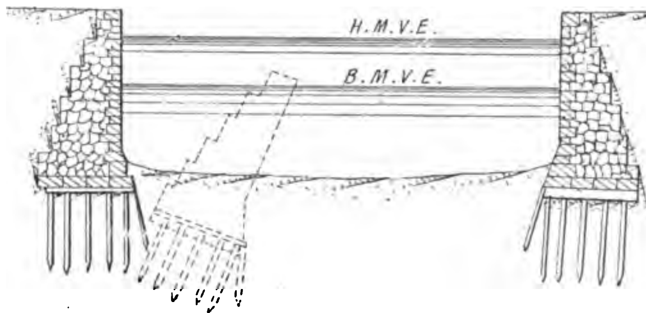


Fig. 172. — Belfast. — Glissement du mur de l'écluse.

de longueur, espacés de **1,30** *m*. Ce pilotis étant absolument insuffisant et les matériaux de comblement de mauvaise qualité, les pieux se sont

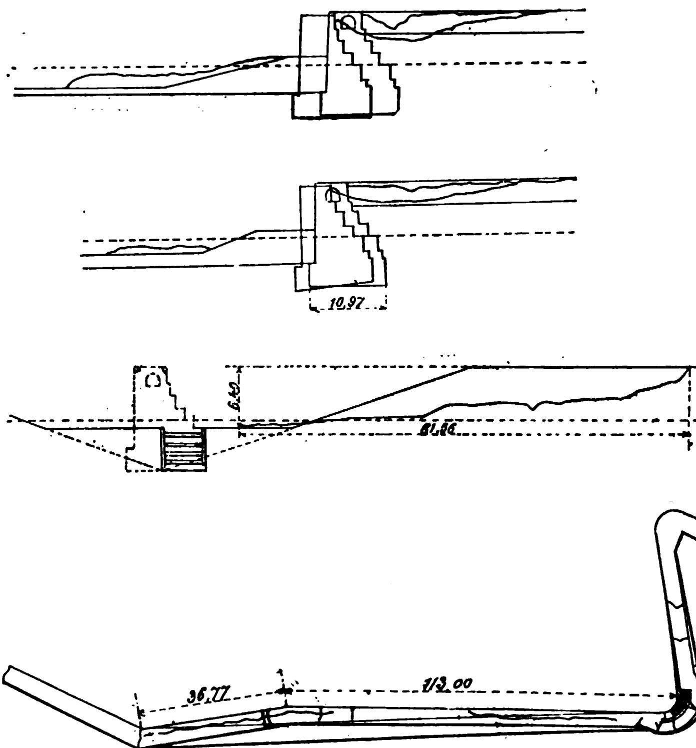


Fig. 173. — Kidderpur Dock. — Plan et coupes du quai écroulé.

brisés et le mur s'est renversé en totalité sur une certaine longueur (fig. 172). Pour retenir les parties indemnes, on les appuya à leur pied par des arcs-boutants inclinés sur le fond et butés contre d'autres pilots ; on a obtenu un résultat satisfaisant. Le mur écroulé a été rebâti suivant le profil (fig. 171).

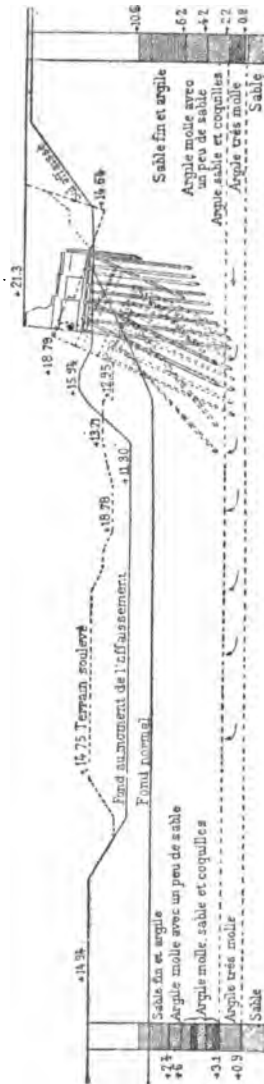


Fig. 174. — Brunsbüttel. — Affaissement du mur de quai.

Kidderpur Dock, *Calcutta* (fig. 173). — Les murs ont été bâtis sur une vase indurée, résistante quand elle est sèche, mais molle une fois mouillée. Le talus est de $\frac{1}{24}$ et la fondation lui est normale. Malgré une berme de 5 mètres ménagée dans le terrain lui-même, le mur a glissé de 4 mètres. On n'a fait que prendre quelques mesures de consolidation et le mouvement a été arrêté par le remplissage du bassin.

West India Docks, *Londres.* — Dans les deux bassins les murs ont cédé à cause du glissement de la couche d'argile de fondation sur un banc de vase sous-jacent.

Canal de la Baltique. — Le canal de l'Empereur Guillaume, à son débouché dans l'Elbe, comporte un port intérieur, à Brunsbüttel. Les murs de quai ont été établis sur un fond mouvant composé de couches alternatives de sable et d'argile ; les fondations reposent sur des pieux de 12 à 16 mètres de longueur, de 33 à 35 centimètres de diamètre.

Le glissement d'une couche d'argile molle de 80 centimètres d'épaisseur a amené la rupture d'une partie du mur de quai du sud et un affaissement de plusieurs mètres de hauteur (fig. 174). Le mur a été reconstruit suivant le type de la

figure 175. Il est formé d'une série de voûtes ; la figure est faite sur l'axe de l'une des voûtes.

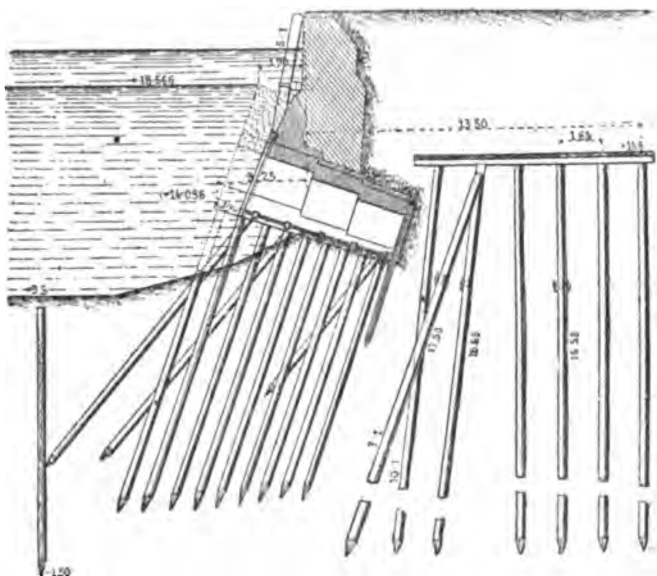


Fig 175. — Brunsbüttel. — Reconstruction du quai du port intérieur.

Pasajes (Espagne). — Un quai en blocs artificiels de 4×2×1,50 *m*, de 14 mètres de hauteur, avec remblai en pierres par derrière, établi sur une couche de vase profonde à la cote — 8 mètres, a glissé et s'est renversé en arrière; on a dû déraser au niveau de basse mer la maçonnerie et établir au-dessus une plateforme de béton qui porte une estacade en charpente.

Cette. — A Cette, les anciens quais n'étaient fondés qu'à la cote — 5 mètres; on profita de leur réfection, devenue indispensable, pour descendre les fondations à — 7 mètres. On a battu des pieux au-devant des anciens murs (fig. 176), à des intervalles de 1,50 *m*, reliés par des tirants en fer à d'autres pieux battus à 10 mètres en arrière dans le terre-plein du quai; on draguait ensuite au pied des murs, sur de petites longueurs à la fois, jusqu'à — 7 mètres et l'on exécutait une base de 1,50 *m* d'épaisseur; puis quelques jours après, on coulait le mur, en béton également, à l'abri d'un coffrage de panneaux de char-

pente. On terminait le quai en maçonnerie au-dessus du niveau de la mer.

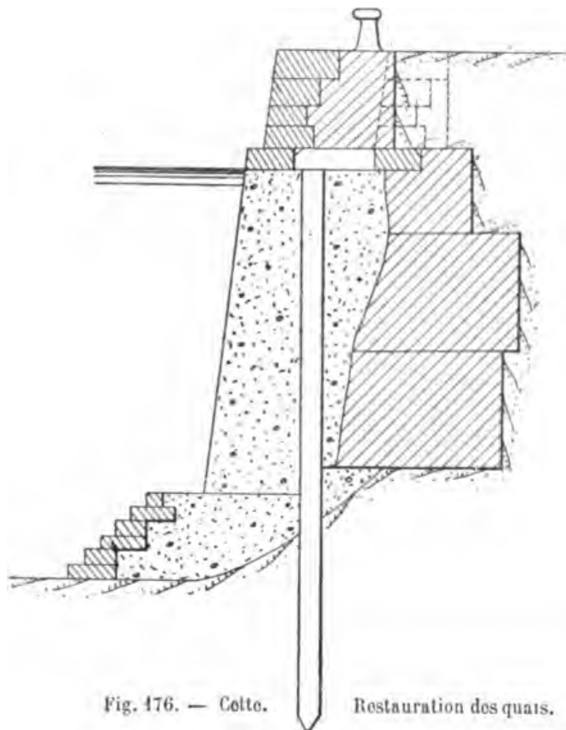


Fig. 176. — Cette. Restauration des quais.

Southampton, Empress dock. — Le bassin a été construit dans un espace conquis sur la mer. La profondeur est de 8 mètres ; les murs de quai, en béton, ont 15,50 *m* de hauteur ; l'épaisseur est de 9 mètres à la base, 7,50 *m* au sommet. Ils sont fondés à 2 mètres au-dessous du fond du bassin, sur de l'argile.

En septembre 1888, un tronçon de 120 mètres du mur nord, dont la longueur totale est de 254 mètres, glissa en deux jours de 7 mètres sans se briser ni se renverser. Il fallut le démolir et le reconstruire, en descendant les fondations à 4,50 *m* sous le fond.

Le pied des autres murs fut alors consolidé par des contreforts de $6 \times 4{,}5 \times 4$ mètres $=$ 108 mètres cubes, espacés de 9 mètres. Cette précaution n'empêcha pas le mur est, sur une longueur de 120 mètres, de glisser de 4 mètres et se renverser en soulevant les contreforts (fig. 177).

La reconstruction a été faite comme au quai nord, et le pied du mur fut chargé pendant qu'on remplissait le bassin.

Il était déjà en service, les magasins aussi, quand le quai ouest se mit à son tour en mouvement. Non seulement on dut dégager le mur par derrière (fig. 168) mais encore foncer entre les contreforts des



Fig. 178.
Empress Dock.
Southampton.
Nouveau mur.

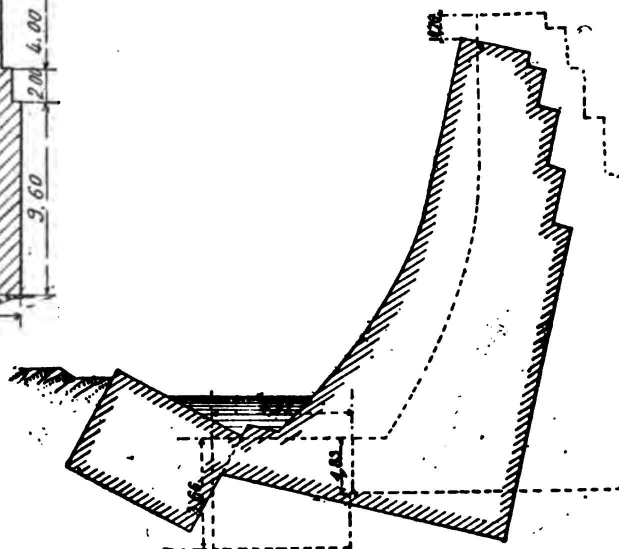


Fig. 177. — Empress dock. — Renversement du mur de quai.

cylindres de maçonnerie de 4,25 *m* de diamètre, jusqu'à la profondeur de 6 mètres au-dessous du fond. Sur ces cylindres et les contreforts on éleva un nouveau parement en avant de l'ancien (fig. 178).

Cet exemple prouve la nécessité de fonder à grande profondeur dans l'argile.

MODE DE CONSTRUCTION DES MURS

Le véritable mur de quai, au-dessus de la fondation, n'est parfois que le prolongement de celle-ci, par exemple quand tout l'ouvrage est construit en blocs artificiels ou en béton coulé en place. Mais le plus souvent, sur la plateforme des pilotis, sur les massifs inférieurs de béton, sur les puits havés, etc., on établit un mur dont on a vu ci-dessus le profil et l'épaisseur.

Murs en maçonnerie. — Ils étaient jadis presque toujours en pierres de taille pour le parement et en moellons pour le massif intérieur. On y insérait souvent des pièces de garde en bois, destinées à

recevoir les chocs des navires; d'autres fois c'étaient des chaînes en pierre dure que l'on destinait à cet office. Mais on laisse aujourd'hui les navires se protéger eux-mêmes par des madriers suspendus le long du bord, ou par des défenses en cordages.

La pierre de taille, trop coûteuse, a souvent été remplacée par des moellons piqués ou smillés, et même bruts.

Certains bassins ont été creusés dans le roc de façon que leurs quais ont été modelés dans la pierre elle-même, qui n'a eu besoin que d'un revêtement de maçonnerie. Tel est le cas de l'Herculanum Dock de Liverpool.

L'*Herculanum Dock de Liverpool* a été creusé à la mine dans le nouveau grès rouge; la fouille a été modelée sur le profil même du

Fig. 179. — Mur d'Herculanum dock. — Coupes verticale et horizontale.

bassin; mais la pierre n'étant pas assez dure pour résister à un service de quai, on l'a plaquée d'une maçonnerie très mince (fig. 179). Pour

relier ce placage au roc, celui-ci a reçu, de 6 mètres en 6 mètres sur

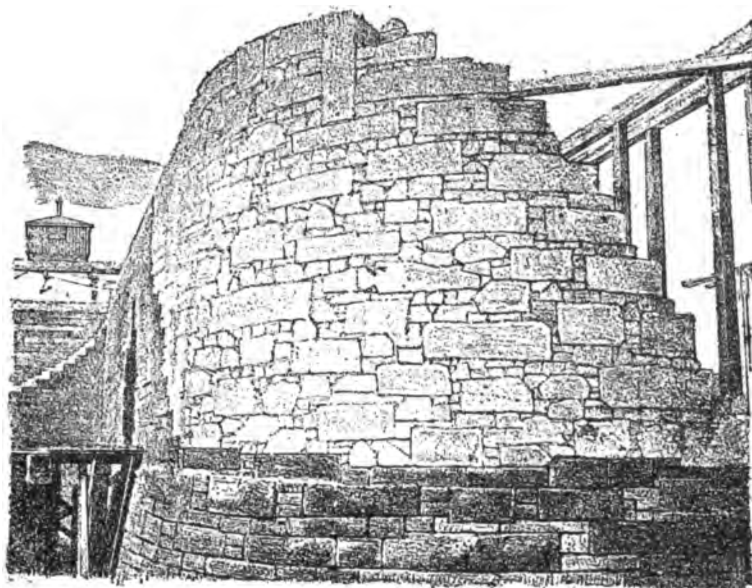


Fig. 180. — Liverpool. — Type de maçonnerie cyclopéenne.

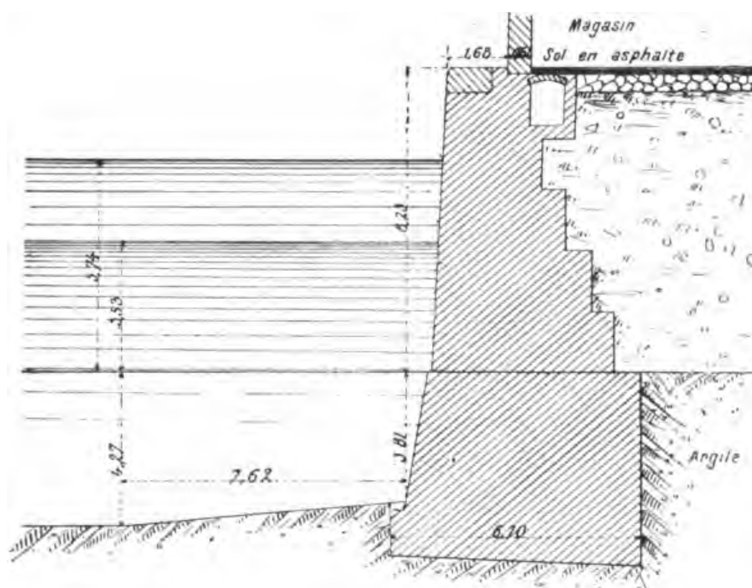


Fig. 181. — Mur de Langton dock, Liverpool.

toute la hauteur du mur une entaille à queue d'aronde, ayant 1,50 *m*

de largeur à la base et 1,20 *m* de hauteur. Dans ces couloirs on a inséré des gros blocs taillés en double queue d'aronde, de façon à présenter la même forme en dedans et en dehors de la rainure; la partie extérieure sert de liaison au revêtement en maçonnerie.

Le type de la maçonnerie « cyclopéenne » usitée dans les autres bassins de Liverpool est donné par les figures 180 et 181 qui représentent le mur de quai du *Langton-Dock*. Les moellons smillés du parement sont intentionnellement irréguliers.

Murs en briques. — La brique s'emploie en parements à la place des pierres de taille (Avant-port du Havre, bassin de l'Eure). A Anvers, au contraire (fig. 182) la maçonnerie de briques est protégée par un revêtement en pierres de taille.

Murs en béton. — L'usage du béton pour les murs de quai s'est surtout généralisé en Angleterre. Dans certains ports, Whitehaven (fig. 183) West India docks, Millwall docks de Londres (fig. 184), le béton n'a servi que de remplissage entre des parements de briques. A Portsmouth, le parement vu est à la base en briques et au sommet en pierres de taille, le massif arrière est en béton. De plus, des assises de briques, épaisses de 45 à 52 *cm*, perpendiculaires au parement, sont étagées à hauteurs diverses et isolent ainsi le béton en plusieurs couches.

On trouve des murs entièrement en béton à l'Albert-Dock de Londres, à l'Hornby-Dock de Liverpool. On le coule en place dans des enceintes (Tilbury, fig. 186), ou bien il est employé en sacs, comme à Aberdeen.

Sables-d'Olonne. — Comme exemple de mur construit dans un port peu important, à bon marché, on peut citer celui des quais sud et ouest du port des Sables-d'Olonne, dont la hauteur est de 7,45 *m* et qui repose sur une argile compacte. Il consiste en blocs de 2 mètres de longueur immergés après dragage; le vide entre eux a été rempli avec des sacs de béton. Les maçonneries sont en moellons et le parement en pierres de taille de granit. En arrière des blocs, on a disposé un blocage à 45".

Quimper. — Longueur: 105 mètres. Hauteur de 5,50 à 5,50 *m*. Les fondations reposent sur fond de sable et pierrailles.

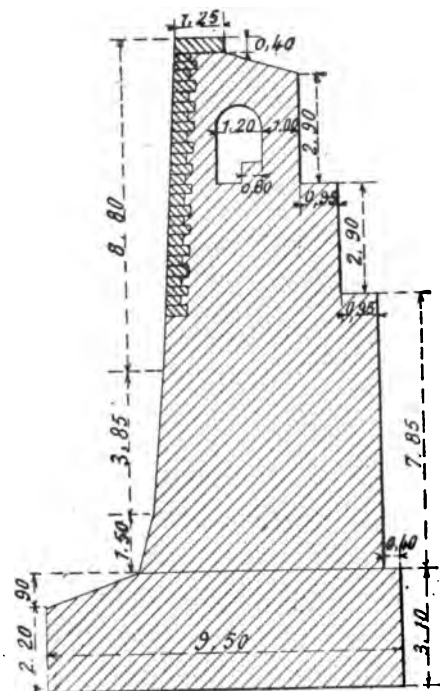


Fig. 182. — Nouveau quai d'Anvers.

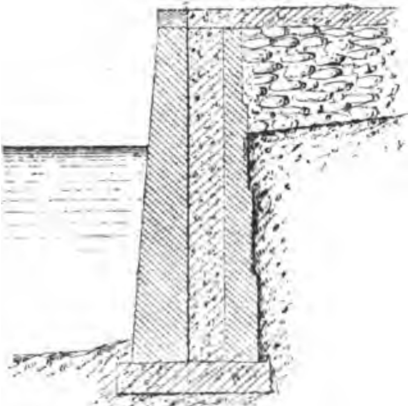


Fig. 183. — Whitehaven. — Mur de quai.

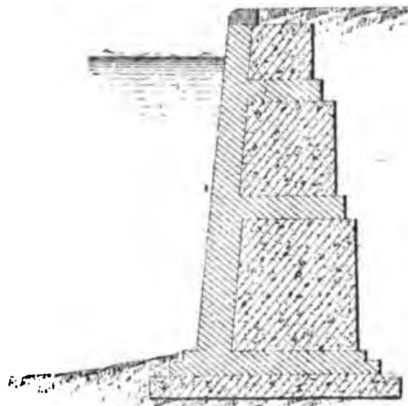


Fig. 184. — Millwall Docks. — Mur de quai.

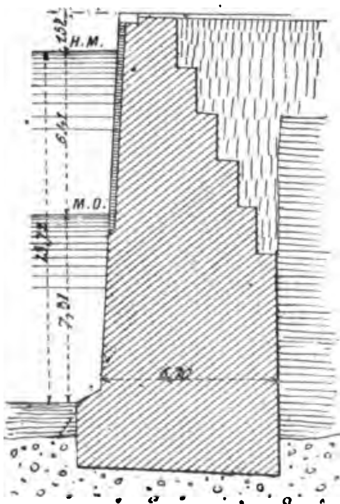
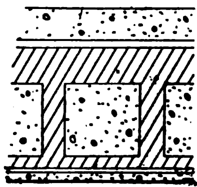
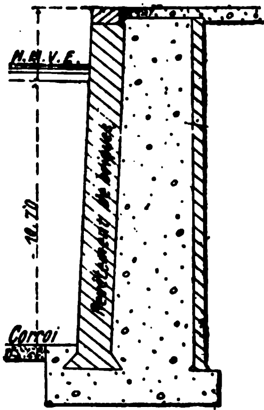


Fig. 186. — Tilbury. — Bassin de marée.



Plan.



Coupe.

Fig. 185 — West India South Dock. Mur de quai.

L'étiage se trouvant à 80 *cm* et 1 mètre au-dessous du fond, pour éviter des épuisements coûteux, on a posé des blocs de 1 mètre cube sur des sacs en béton destinés à dresser le fond. Au-dessus s'élève un mur de maçonnerie en pierres sèches, parementé en maçonnerie au mortier de ciment.

Douarnenez.— Longueur : 115 mètres. Hauteur de 4,60 à 6,80 m. Le mur est à noyau de pierres sèches revêtu de maçonnerie au mortier de ciment.

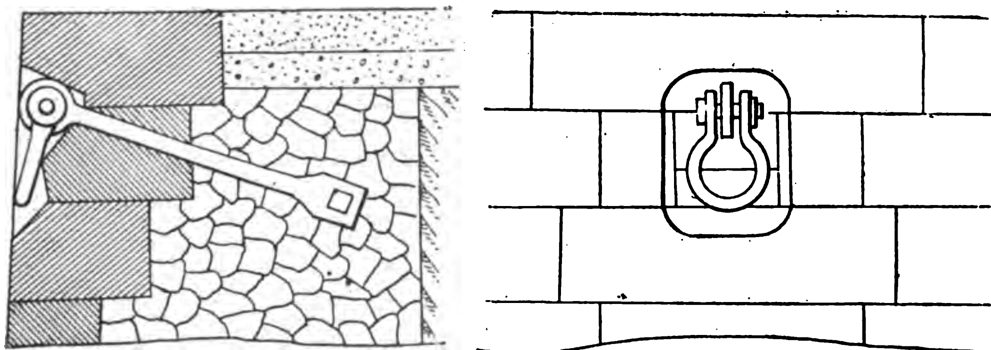
CHAPITRE XXVIII

ACCESSOIRES DES QUAIS.

Les quais des ports sont munis d'un certain nombre d'accessoires plus ou moins indispensables suivant leur disposition, leur importance.

Organeaux (fig. 187). — Les organeaux sont des anneaux de fer fixés sur le parement des murs de quai, surtout dans les avant-ports ; Ils sont destinés à l'amarrage des embarcations et à l'accomplissement des manœuvres des navires.

Construits en fer rond de 6 centimètres, ils ont de 30 à 40 centimètres de diamètre.

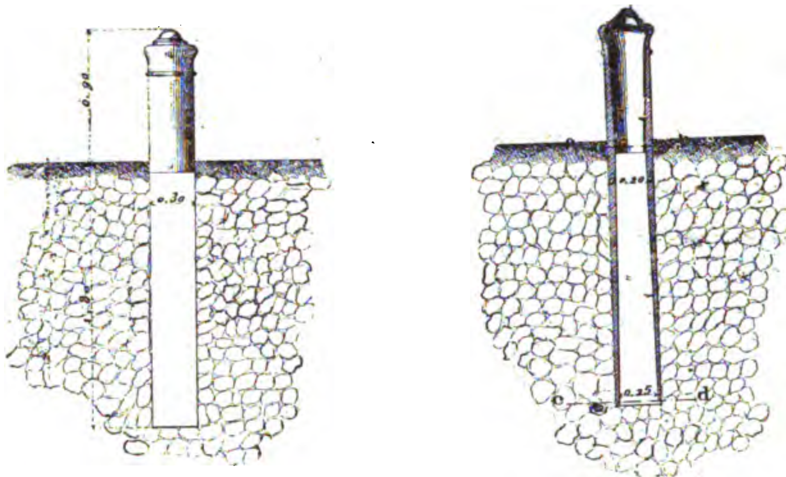


Coupe. Fig. 187. — Organeaux. Elévation.

L'anneau tourne autour d'un goujon vertical fixé dans l'œil d'un tirant horizontal de 1,50 *m* de longueur, scellé dans la maçonnerie.

Les anneaux au repos ne débordent pas le parement, étant encastrés dans un refouillement. Ils sont disposés en lignes horizontales espacées verticalement de 1,50 *m*. Dans chaque ligne ils sont distants d'une vingtaine de mètres et alternent ensemble.

Bornes d'amarrage. — Les navires s'attachent à des bornes d'amarrage installées sur les quais à un mètre ou deux en arrière de l'arête du mur. C'étaient autrefois de vieux canons enterrés la bouche en bas. On emploie maintenant des dès en pierres de taille ou des pièces en formes de canons (fig. 188) en bois ou en fonte, solidement fixées



Elévation. Fig. 188.— Borno. Coupo.

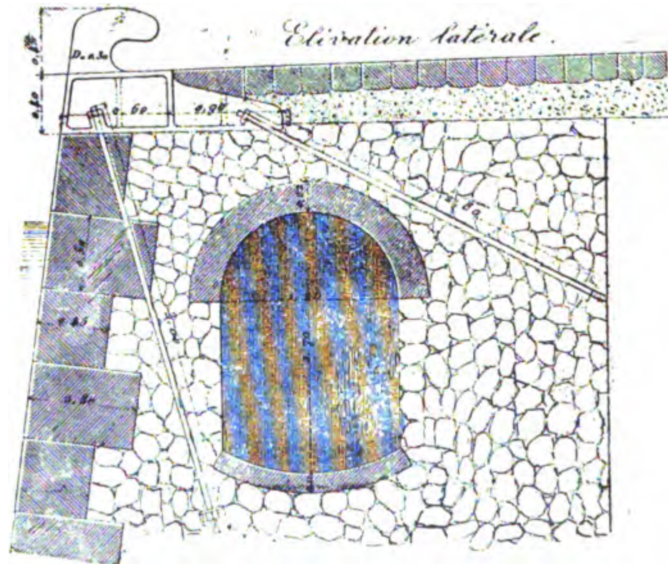


Fig. 189. — Bollard.

dans le sol ; leur tête est épaissie, afin d'empêcher les amarres de s'échapper.

Bollards (fig. 189). — La situation des bornes d'amarrage à une assez grande distance de l'arête du mur est très gênante ; les cordages encombrent les quais où les grues ne peuvent se déplacer ; c'est l'inconvénient des quais de Trieste, où cent dix grues sont placées à trois mètres de l'eau. Dans les installâtions nouvelles, on emploie des bornes en crochet, dites bollards, installées sur l'arête elle-même.

Aux docks de Tilbury, les bollards remplissent un autre rôle. Leur tête est perforée et ils sont en communication par des tuyaux avec les aqueducs de sassement. L'air s'échappe par ces orifices, lorsque l'eau pénètre dans les conduits.

La situation même des bollards exige une liaison très solide avec la maçonnerie du quai.

Bouées. — Dans les larges bassins ou avant-ports, les navires ne s'amarrent pas seulement aux quais, mais encore au milieu de la surface d'eau, où ils se déchargent sur allèges (Hambourg). L'amarrage se fait sur des bouées en bois ou en tôle, solidement mouillées (fig. 190).

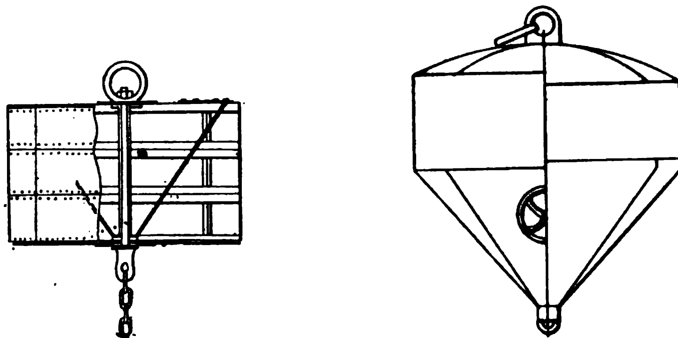


Fig. 190. — Bouées pour bassin.

En général ce sont des cylindres ou des cônes étanches en tôle soigneusement rivée. Leur attache au fond du bassin se fait soit par des ancres, soit par des vis enfoncées dans le sol, soit même par des blocs artificiels enterrés (Kiel).

Les vis, à tête carrée, sont tournées au moyen de longues clefs. Celles d'un mètre de diamètre et de deux mètres de pénétration retiennent les plus grands navires dans les terrains ordinaires. Dans les sols très mous il faut augmenter diamètre et profondeur.

Les bouées demandent un entretien très soigné ; elles sont ramenées à terre au moins une fois par an pour être peintes à neuf.

Les bouées s'emploient également pour le mouillage des navires en rade (corps-morts) ; leur diamètre est alors considérable (fig. 191); on les

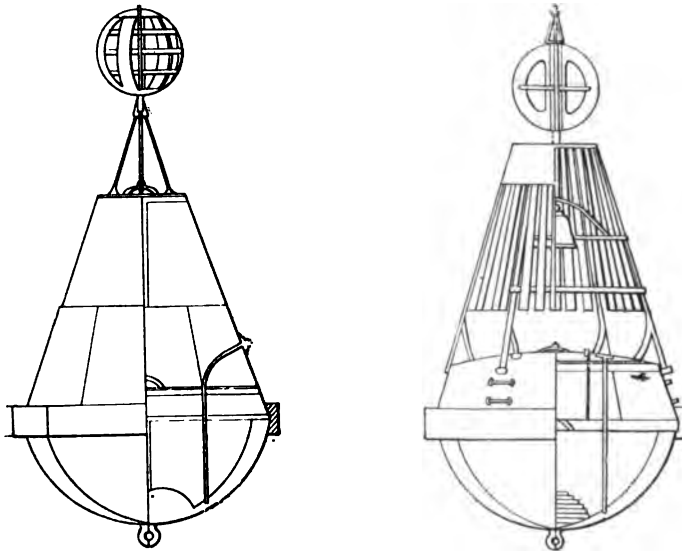


Fig. 191. — Bouées de pleine mer.

mouille au moyen de plusieurs ancres très solidement affourchées. Sur un fond rocheux, les ancres sont remplacées par des cloches de fonte, d'une à deux tonnes, dites *crapauds*, qui adhèrent fortement au roc.

Ducs d'Albe (fig. 192). — Dans les ports de l'Europe septentrionale les bouées sont remplacées par des *ducs d'Albe*, pilots profondément enfoncés, réunis le plus souvent par groupes de trois, et dont les têtes

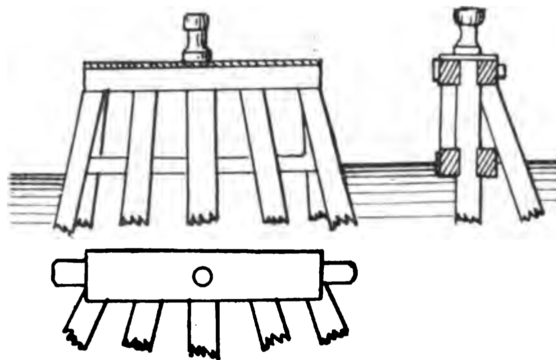


Fig. 192. — Ducs d'Albe du canal d'Amsterdam.

rassemblées s'arc-boutent mutuellement. A Kiel, les ducs d'Albe comprennent un pieu central dépassant de 1,50 *m* les plus hautes mers,

soutenu par cinq pieux inclinés au quart et réunis entre eux au-dessus du plan d'eau par deux rangées d'entretoises.

A Hambourg une partie des ducs d'Albe est en fonte creuse de 35 *cm* de diamètre ; ces tubes, enfoncés au moyen de vis, ont leurs têtes réunies par un chapeau de fer. Le poids de l'ensemble est de sept tonnes.

Baies de sauvetage. — Les quais ont leur couronnement à une hauteur moyenne de 2,40 *m* au-dessus des bassins ; les personnes tombées à l'eau ne pourraient donc remonter ; on ménage dans des refouillements des échelles de 50 *cm* de largeur en barreaux de fer.

Les baies ont 25 *cm* de profondeur et sont espacées d'une dizaine de mètres ; elles sont parfois reliées par des chaînes qui servent également au sauvetage (fig. 193).

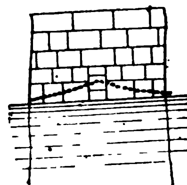


Fig. 193
Baie de sauvetage.

Les organeaux sont placés au milieu des entre-baies de deux en deux, l'entre-baie intermédiaire étant destinée à recevoir une borne d'amarrage.

Egouts, Conduites d'eau, de gaz. — On ménage sur toute la longueur des quais, à peu de distance de l'arête, un égout suffisant pour arrêter les eaux pluviales ou d'arrosage. Son débouché doit-être en dehors du bassin. On y installe les conduites de gaz et d'eau, les fils électriques.

L'eau doit pourvoir à l'alimentation des fontaines, des aiguades pour les navires, des machines, etc.

Au Bassin Bellot, l'aqueduc mesure 1,20 *m* de largeur et 2 mètres de hauteur.

Eclairage. — En dehors de l'éclairage spécial des magasins, les quais en nécessitent aussi un général. Il se fait en général au gaz ; mais dans les centres importants, l'avant-port au moins est éclairé par des lampes électriques qui permettent l'entrée et la sortie aux marées de nuit. Cette prévision est surtout utile dans les ports où la marée nocturne est la plus considérable, car elle pourrait en permettre seule l'accès aux navires de fort tirant d'eau.

L'éclairage électrique se répand d'ailleurs beaucoup. On emploie

surtout les lampes à arc élevées sur des pylônes de 15 à 20 mètres de hauteur.

A Rouen les pylônes, espacés de 50 à 100 mètres, n'ont que 11 mètres de hauteur ; l'éclairage a permis le travail de nuit pour les navires charbonniers. Les pylônes sont formés de quatre cornières réunies par un léger treillis ; à la base une partie en tôle pleine contient le petit treuil de manœuvre de la lampe. Le voltage est de 45 volts aux bornes de chaque lampe. Un rhéostat en série avec quatre lampes absorbe environ 40 volts. Le voltage total est donc de 220. La puissance des machines motrices est de 32 chevaux. Les dynamos peuvent donner 95 ampères sous 220 volts à la vitesse de 975 tours par minute, mais n'en fournissent normalement que 70, soit 10 ampères pour chaque série de 4 lampes, groupées au nombre de 28 en sept séries.

Le kilowatt-heure revient à 30 centimes ; la dépense annuelle atteint 7380 francs, celle d'amortissement était estimée à 4360 francs.

A Barry, l'éclairage est obtenu par 41 lampes à arc de 300 bougies, placées sur des pylônes de 12 mètres. Les lampes, tant au quai nord qu'au quai sud, sont placées alternativement sur deux circuits, de façon qu'une lampe sur deux puisse être utilisée en cas d'accident ou lorsqu'on veut modérer la lumière.

Les dynamos sont actionnées par deux moteurs compound de 90 chevaux chacun. L'un conduit deux machines à courant continu pour l'éclairage à arc (1350 volts, 15 ampères) ; l'autre une machine à courant alternatif (2000 volts, 25 ampères).

Aux docks Alexandra et Langton à Liverpool, l'éclairage électrique est distribué suivant un système spécial. De puissantes lampes à arc sont placées sur des tours de 23 mètres de hauteur, convenablement espacées pour l'égale répartition de la lumière (100 mètres environ). Les tours en treillis léger n'ont que 75 *cm* de côté à la base et 25 *cm* au sommet. Solidement fixées à un bâti de fonte, elles n'exigent pas d'étais. La dépense d'installation et d'entretien est, paraît-il, moindre qu'avec les lumières installées seulement à 10 ou 12 mètres.

Débarquement des passagers. — Dans les ports non soumis à la marée, l'installation d'un point de débarquement pour les passagers est facile, la hauteur des quais étant constante au-dessus du niveau de la mer. Il n'en est plus de même quand la marée atteint une certaine amplitude. Le débarquement des passagers s'opère alors sur des esca-

liers ou des cales, établis en retrait dans le mur du quai, pour ne pas gêner les manœuvres ; suivant l'amplitude on aborde à des hauteurs différentes. Comme les marches sont mouillées dans la zone de la marée, elles doivent être assez larges, 33 *cm*, et assez longues, 1,50 *m*, pour éviter les accidents ; la propreté est aussi une condition essentielle.

Quand la marée est très forte, il est bon de ménager des paliers, sur lesquels les navires appuient, à la hauteur convenable, des passerelles pour faciliter le débarquement. A Calais, on a établi deux par deux des groupes d'appontements formés de charpentes métalliques, à trois étages ; chaque groupe occupe la partie centrale du poste d'accostage d'un paquebot (fig. 194). Celui-ci appuie sa passerelle mobile sur le palier le plus à portée, selon la hauteur de la marée.

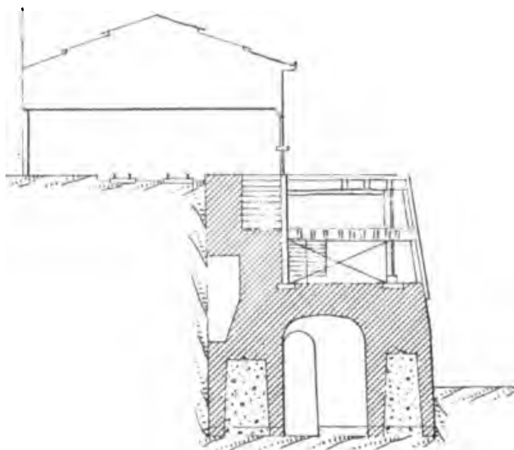


Fig. 194. — Débarcadère de Calais.

Quand le mouvement des voyageurs est considérable, ils débarquent sur des pontons qui suivent le mouvement de la marée et sont reliés à la terre par une passerelle mobile dont le pied, muni ou non de roulettes, se déplace sur le pont suivant la hauteur de la marée. L'inclinaison varie en conséquence, la passerelle étant presque horizontale à haute mer. Pour que l'accès soit facile, il faut que l'inclinaison reste dans les limites voulues, ce qui conduit à donner à la passerelle une longueur proportionnée à l'amplitude de la marée. Il ne faut pas dépasser la pente de $\frac{1}{5}$ pour les piétons et $\frac{1}{15}$ si le pont sert également aux voitures.

Le plus connu de ces débarcadères flottants est celui de Liverpool,

qui mesure 640 mètres de longueur sur 25 de largeur et communique avec la terre par sept passerelles longues de 35 mètres, couvertes en vitrages. En outre, un véritable pont de 140 mètres de longueur donne passage aux véhicules, pour lesquels la pente reste très faible $\frac{1}{16}$, tandis qu'elle atteint $\frac{1}{4}$ pour les piétons. Le débarcadère flottant se compose de 158 caissons en fer ($25 \times 3 \times 2{,}25\,m$) divisés en compartiments étanches par une cloison longitudinale et quatre transversales, où pénètre une pompe spéciale d'épuisement.

. C'est là sans doute un exemple unique, d'autant plus que ce débarcadère a à satisfaire non seulemeut au mouvement du port de Liverpool mais aussi à la communication avec Birkenhead, situé sur la rive opposée de la Mersey.

A Hambourg il y en a deux, de 105 et 240 mètres de longueur.

A Anvers, il en existe trois : un de 100 mètres de longueur et 20 mètres de largeur qui sert aux véhicules ; deux de 20×10 mètres pour les piétons. Ils sont abrités dans des entailles des murs de quai de l'Escaut.

Les pontons sont rattachés au rivage par des chaînes, mais ils en sont aussi écartés par des poutres transversales ou par la passerelle elle-même et n'ont guère qu'un mouvement vertical. Dans un bassin bien protégé et à faible marée, on peut les placer dans l'enclave d'un quai, entre des glissières et des galets ; mais alors ils doivent présenter une surface suffisante pour ne pas être exposés à coincer par une inclinaison trop forte d'un seul côté.

Quand ce sont des vapeurs de passagers qui viennent accoster au ponton, on pourrait restreindre le rôle de celui-ci à recevoir, à peu près en son centre, le pied de la passerelle sur laquelle s'appuierait d'un côté une autre passerelle volante qui la ferait communiquer directement avec le bateau. Dans ces conditions, l'équilibre serait assuré avec un ponton de volume très réduit. Il vaudrait mieux, dans une installation pareille, articuler la base de l'échelle sur le ponton et laisser glisser la partie supérieure.

Quand c'est l'extrémité supérieure qui est articulée au quai, on dispose aujourd'hui à l'autre bout deux rouleaux dont l'axe est parallèle à celui du pont. Ils roulent sur une plateforme munie elle-même de roulettes perpendiculaires à la première direction. Le pont, de cette façon n'éprouve d'effort latéral dans aucun sens.

Wallasey Stage, Birkenhead. — Le ponton de débarquement de Birkenhead est situé à un point où existe un banc de sable; il a donc fallu l'éloigner de 60 mètres du rivage auquel il est relié par un pont sur pieux et un môle en maçonnerie (fig. 195 et 196).

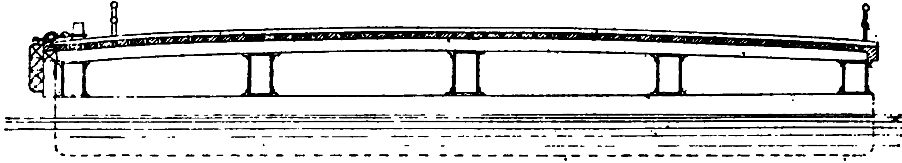


Fig. 195. — Wallasey Stage.

Le ponton flottant a 107 mètres de longueur sur 22 de largeur; le plancher incliné est supporté par des poutres transversales supportées par cinq carlingues en fer. Les flotteurs, au nombre de 22, ont 21 mètres de longueur, 3 mètres de largeur et 1,50 *m* de profondeur, la longueur est placée transversalement au ponton.

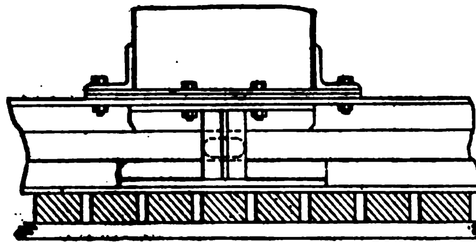


Fig. 196. — Détail du Wallasoy Stage.

Dix des flotteurs ont 27 mètres de longueur; ils sont accolés en deux groupes de cinq sous les passerelles mobiles qui rejoignent le ponton au pont fixe.

La tôle des flotteurs à 6 *mm* d'épaisseur; elle est supportée par une ossature de cornières et fers à T. La figure 196 indique suffisamment le mode de construction. Le ponton est retenu par deux chaînes dont les maillons ont 306 *mm* de longueur, 184 *mm* de largeur en fer de 50 *mm* de diamètre.

Greenore. — A l'entrée de la baie de Carlingford sur la côte orientale d'Irlande, à Greenore, on a installé une station maritime qui peut être citée comme un exemple de bonne disposition pour un service de paquebots. On a eu en vue de séparer autant que possible les passagers des marchandises plus ou moins odorantes comme le poisson, et des bestiaux qui forment une partie de la cargaison (fig. 197 et 198).

Les voyageurs débarquent sur une plateforme mobile qui vient se placer juste à la hauteur du pont du vapeur. Cette plateforme est mue

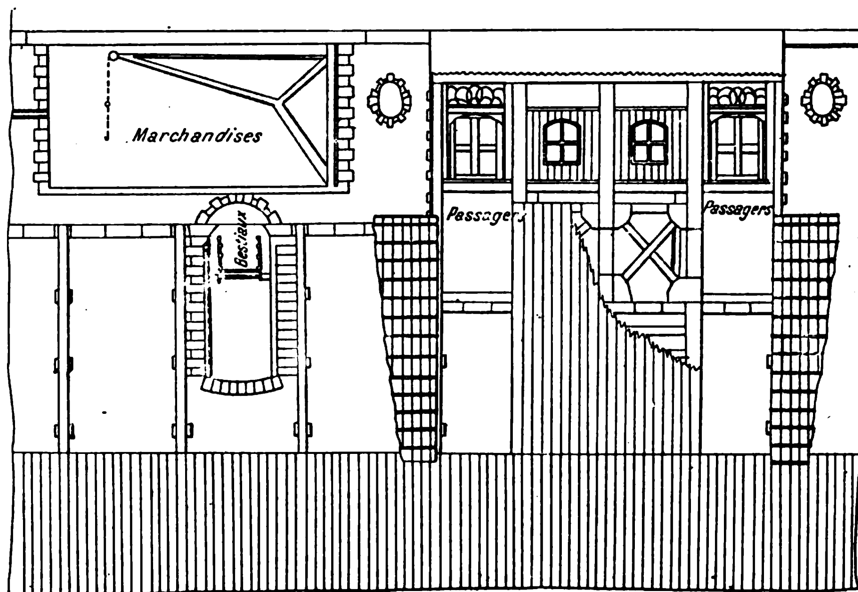


Fig. 197. — Elévation du débarcadère de Greenore.

au moyen de quatre chaînes actionnées par un cylindre hydraulique situé à l'étage de l'abri où s'opère le débarquement. Tout accident est prévenu par une crémaillère à rochet.



Fig. 198. — Coupe.

La plateforme a 11 mètres de longueur sur 2 mètres de large et 2 mètres de hauteur. A chacune de ses extrémités est un pont de 1,50 *m* de largeur, par où s'opère le passage des voyageurs.

Ceux-ci passent de la plateforme à un tunnel situé sous le hangar des marchandises, et qui conduit à un abri d'où l'on peut gagner l'hôtel. La plateforme est reliée à l'entrée du tunnel par un escalier dont les marches restent horizontales quelle que soit sa position; au

niveau le plus bas, les marches forment un plan; elles s'écartent à mesure que monte la plateforme, avec la marée dont l'amplitude maxima est de 5 mètres. L'escalier roule à sa partie inférieure sur des galets, et ses supports ainsi que les montants sont articulés pour assurer l'horizontalité des marches.

Une disposition semblable sert aux bestiaux; la plateforme a douze mètres de largeur.

L'installation de Greenore fonctionne toujours et donne entière satisfaction ; cependant elle n'a été imitée nulle part, bien qu'on ait manifesté l'intention de l'adopter à Barry. Cela tient, d'après l'ingénieur, M. Chambers, qui a bien voulu nous donner quelques détails, à l'obligation pour les vapeurs de débarquer toujours au même point et enfin à la difficulté d'augmenter le débarcadère, en cas de nécessité. Nous ne voyons pas là des obstacles sérieux à l'adoption d'un système aussi commode.

Cales. — Pour le débarquement de certaines marchandises telles que les bois, on ménage dans les quais des plans inclinés aboutissant à

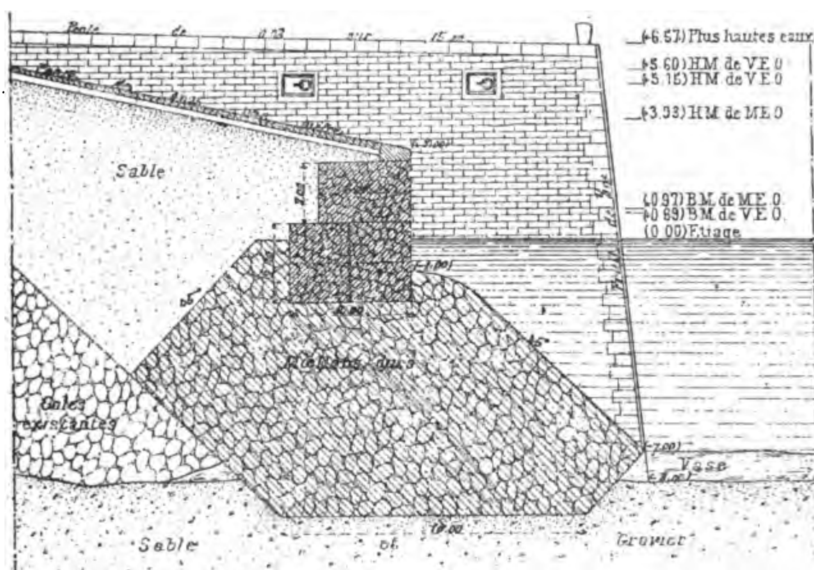


Fig. 199. — Bordeaux, cale Lucien Faure. — Coupe.

une partie plane située au niveau de sabords pratiqués à l'avant des navires. Telles sont les *cales* Lucien Faure et du Médoc à Bordeaux.

Ce nom de cales est également donné à des plans inclinés où les navires peuvent accoster à tout état de marée dans les avant-ports.

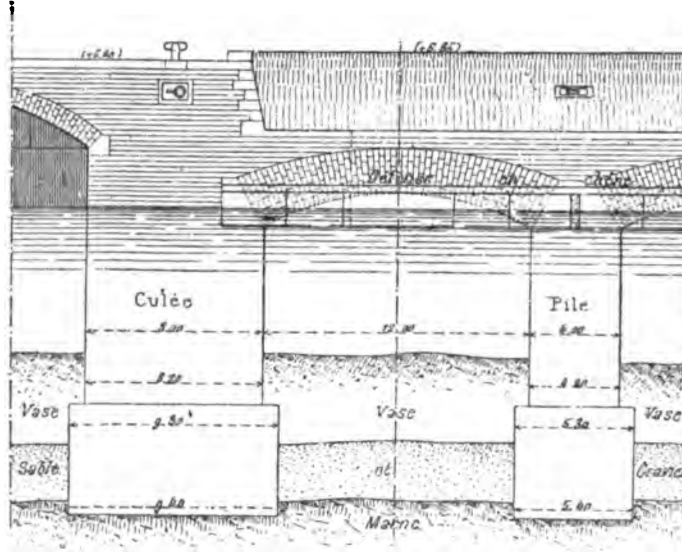


Fig. 200. — Cale du Médoc. — Elévation.

CHAPITRE XXIX

AMÉNAGEMENT DES QUAIS

Le développement de la navigation à vapeur a eu pour conséquence la transformation complète des usages du commerce maritime ; les ports où elle a été la plus rapide ont pris sur les autres une avance accusée par l'accroissement de leur trafic.

Les grands vapeurs réclament pour le rapide achèvement de leurs opérations des bassins à accès facile, profonds, munis de commodes aménagements.

Elargissement des quais. — Les opérations se font surtout le long des quais. On a vu les dispositions adoptées pour augmenter le développement de ces points d'accostage.

Mais la longueur n'est qu'un des éléments de leur utilisation, de leur capacité commerciale ; leur largeur a une égale importance. Seules certaines marchandises spéciales peuvent être enlevées aussitôt après leur débarquement ; la plupart doivent être auparavant reconnues, conditionnées, visitées par la douane, etc., opérations qui comportent des délais obligatoires.

Souvent les navires ne peuvent occuper un quai parce que le terre-plein attenant est encore encombré de marchandises. Pour remédier à cet inconvénient il faut une largeur suffisante, afin de pouvoir reculer les colis débarqués.

Les anciens ports présentent à cet égard une infériorité qu'il n'est pas facile de faire disparaître, car l'élargissement des terre-pleins exige des expropriations coûteuses, les magasins les plus rapprochés des bassins étant très recherchés et par conséquent de grande valeur.

Les dimensions nécessaires dépendent d'ailleurs de la nature du trafic. Au Havre le bassin dont le rendement commercial est le plus fort est celui du Roi, dont la superficie est de 1,20 *ha* avec un développement

de quais de 400 mètres. Il n'y entre que des petits navires ; la surface des terre-pleins affectés au dépôt des marchandises n'est que de 4 000 mètres carrés, soit une largeur de 10 mètres environ. L'enlèvement très rapide des marchandises explique l'utilisation intensive des quais.

Outillage. — Il arrive trop souvent qu'un établissement maritime est projeté et construit sans que les conditions de son exploitation aient été prises en considération. Cependant, un port n'est au fond qu'un instrument de travail, qui doit être combiné en vue du rôle qu'il a à remplir. Pour un port de refuge, les questions de facilité d'entrée et d'abri sont prédominantes ; mais un bassin commercial doit parfois sacrifier une partie des avantages extérieurs, si la nécessité s'impose au profit d'une bonne distribution intérieure.

Il y aura donc lieu, la nature se prêtant rarement à une œuvre parfaite, de balancer les avantages et les inconvénients des diverses dispositions possibles. Pour arriver à une solution, la nature des opérations principales du port sera le principal guide.

En général, le rôle d'un port est complexe ; il a à pourvoir à l'importation de marchandises variées et à l'exportation de tous les produits de la contrée.

Dans les très grands centres, comme à Londres (India Docks), dans plusieurs des bassins de Liverpool, on n'a pas hésité à séparer les opérations d'importation de celles d'exportation. Il y a certainement là une sujétion notable pour les navires, obligés de se déplacer ; mais ils trouvent une compensation dans la facilité de manutention opérée par un outillage spécial, qui assure en même temps la rapidité et l'économie.

Le point délicat, c'est la nécessité de lester provisoirement le bâtiment durant le changement de station ; les navires qui peuvent prendre un lest d'eau sont favorisés sous ce rapport.

Les opérations de douane sont aussi facilitées par la spécialisation des opérations.

En très grande majorité cependant, elle est impossible : un seul bassin ou l'ensemble des bassins doit pourvoir à tous les besoins. Alors la disposition générale est d'une importance capitale ; l'outillage doit être réparti dans les meilleures conditions.

Cet outillage comprend :

1° Les magasins, entrepôts, hangars, lieux de dépôt à découvert.

2° Les instruments destinés à la manutention des marchandises : grues, treuils, bigues fixes ou flottantes, allèges, etc. Ceux occupés à l'entretien du port : dragues, embarcations de service, remorqueurs,...

3° Les conduites d'eau, de gaz, de lumière électrique, de force motrice.

4° Les appareils de réparation, cales de radoub, cales de halage, ateliers mécaniques, etc.

5° Les accessoires, bouées, bornes d'amarrage, bollards, organeaux, secours contre l'incendie, secours aux noyés, etc.

Les meilleurs systèmes et leur situation la plus avantageuse doivent être l'objet d'une étude approfondie, pour laquelle les conseils non seulement des marins, mais aussi des commerçants spéciaux de la place seront mis à profit. La solution doit être en tout cas absolument personnelle à l'ingénieur; chacune des parties en cause ne voit guère le plus souvent qu'un côté de la question et c'est à un ensemble rationnel qu'il faut aboutir.

Débarquement. — Les marchandises débarquant dans un port sont les unes destinées à la consommation locale, les autres au transfert dans les villes voisines. Celles qui y sont embarquées proviennent de la localité elle-même ou non.

Les études suivantes prennent comme type le débarquement ; elles s'appliqueraient également à l'embarquement.

Les marchandises destinées au transit peuvent être emportées aussitôt ou doivent au contraire stationner pour un motif quelconque. Suivant les divers cas, l'aménagement des quais est différent.

Si le transport à l'intérieur se fait par batelage, les chalands viennent en général s'amarrer le long du navire qui se décharge le plus souvent par ses propres moyens. Nous n'avons à étudier que le débarquement proprement dit à terre.

HANGARS

Les marchandises qui ne peuvent passer directement du navire dans le wagon sont déposées sur les terre-pleins des quais. Certaines restent sans inconvénient en plein air, et il y a toute économie à les laisser

ainsi ; d'autres sont simplement recouvertes de baches, procédé primitif et quelque peu illusoire. Dans les ports bien aménagés, les terre-pleins sont munis de hangars, qui protègent et contre la pluie et contre le soleil. Ils sont en général très recherchés et au Havre on a toujours trouvé à les louer aussitôt après leur édification.

Le hangar sert à la reconnaissance des colis, à leur conditionnement, à la visite de la douane, etc. Ces opérations sont faites pendant un certain nombre de jours fixé par les règlements et qui varie d'ordinaire de cinq à sept.

Disposition des hangars.— Longueur.— Ils s'étendent parfois sur toute la longueur du quai. Ainsi au nouveau port de Calais, il n'y en a qu'un seul de 525 mètres de longueur. D'autres fois, ils sont discontinus et séparés par des intervalles plus ou moins grands.

Le hangar continu a un avantage sur lequel il est inutile d'insister, puisqu'il réalise l'abri complet ; mais il offre aussi, du moins dans certaines conditions, des inconvénients.

Un navire peut n'avoir à déposer à couvert qu'une portion de sa cargaison ; il est pourtant obligé de payer toute la portion du hangar devant laquelle il stationne. En cas d'incendie, il est difficile de circonscrire le feu. Enfin, la confusion des colis débarqués de deux bâtiments est plus à redouter dans un espace continu.

Le choix entre les systèmes est dicté par la nature du trafic local.

Dans les ports importants, chaque ligne particulière de navigation a ses hangars séparés des autres. Leurs dimensions sont en général proportionnées aux types des bâtiments de la Compagnie. La longueur du hangar n'est pas nécessairement celle du navire à décharger, car les panneaux par où s'opère le mouvement de la cale sont à 15 mètres au moins des extrémités.

Mais d'autre part, en réduisant la longueur du hangar à celle qui sépare les écoutilles extrêmes, on est conduit à en augmenter la largeur, inconvénient plus grave encore.

La disposition la plus avantageuse dépendra donc encore des circonstances. Par exemple, si le hangar a pour but d'abriter le chargement de navires faisant une simple escale et prenant par conséquent peu de marchandises, celles-ci seront groupées à portée des panneaux, disposition qui permettra de réduire la longueur.

Largeur. — Pour la facilité de la manutention, l'arrimage des marchandises ordinaires qui s'opère à la main ne doit pas se faire sur une hauteur moyenne supérieure à 1,50 *m*.

Fig. 201. — Anvers.
Coupe transversale des hangars.

Le tiers de la surface du sol est laissé pour le passage, les reconnaissances, etc. Le dépôt sur les terre-pleins comporte donc en moyenne un mètre cube par mètre carré. Au Havre, on estime qu'un navire de 100 mètres de longueur prend 3600 mètres cubes de marchandises. S'il lui est réservé une longueur de hangar égale à la sienne, la largeur de l'abri sera de 36 mètres.

Fig. 201 *bis*. — Anvers. — Coupe longitudinale des quais et hangars.

Les dimensions varient aussi avec la nature de la marchandise. Un navire de 100 mètres peut porter, par exemple, 4 000 tonnes de graines, dont le poids moyen par mètre cube est de 750 kilogrammes ; le volume est par suite de 5 000 mètres cubes au lieu de 3 600. On peut, il est vrai, donner au dépôt au moins 2 mètres de hauteur ; la largeur du hangar n'en devra pas moins être de 50 mètres.

Au contraire, au bassin de la Pinède à Marseille les nouveaux hangars en construction n'ont que 35 mètres de largeur, dimension jugée suffisante pour le trafic d'un vapeur de 5 000 tonnes, d'après le genre des marchandises généralement reçues dans ce port.

Espacement. — L'espacement entre les hangars discontinus varie suivant le rôle qu'on leur assigne. Parfois, ces intervalles ne sont destinés qu'à les isoler ou à établir des communications entre les voies ferrées du quai et celles posées en arrière de l'abri. La largeur des cours est alors réduite à une dizaine de mètres. Au bassin Bellot, elles servent de terre-plein de dépôt à ciel ouvert et mesurent 40 mètres. A Anvers, ces espaces où l'on a installé des voies de raccordement égales ont de 12 à 24 mètres.

Situation. — Les hangars sont généralement disposés parallèlement aux quais. A Anvers, le long de l'Escaut, ils sont placés normalement au fleuve (fig. 201 et 201 *bis*). On a voulu ainsi réduire le nombre des appuis dans le sens du mouvement ; cette disposition a également obéi

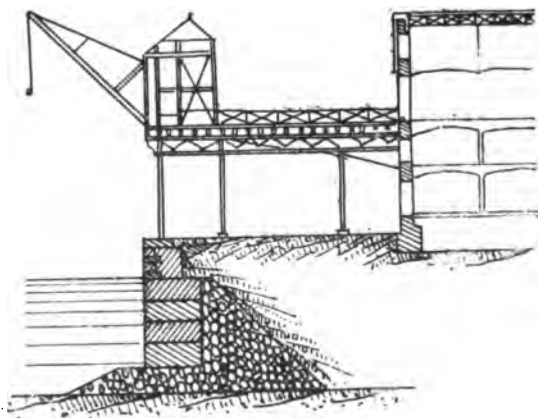


Fig. 202. — Quai de la Joliette.

à une considération d'esthétique, la vue des pignons ornés étant plus architecturale que celle des lignes de faîtage. De cette façon, d'ailleurs,

la longueur des hangars devient réellement leur largeur; elle varie de 30 à 50 mètres.

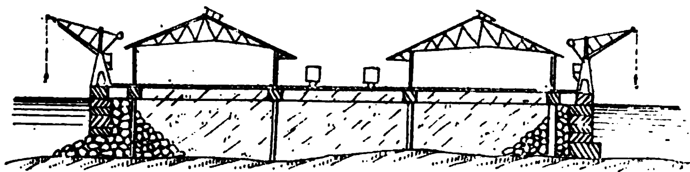


Fig. 203. — Marseille. — Profil transversal d'un môle.

Les figures 202 et 203 représentent le quai de la Joliette et le profil transversal d'un môle du bassin à Marseille.

Hauteur du sol. — En France, le sol des hangars est au niveau de celui du quai afin que les camions y pénètrent. Il en est de même à Anvers pour la plupart des abris.

En Allemagne et dans d'autres pays encore, on préfère élever le sol à la hauteur de la plateforme des wagons, dont le chargement est ainsi rendu plus facile. A Hambourg et à Gand, cette élévation est de 1,20 *m*. Il semble qu'il faut exhausser le sol dans les ports qui expédient principalement par chemin de fer.

A Anvers, un des groupes de hangars présente une section transversale partant d'un côté du niveau du quai pour s'élever de l'autre à la hauteur du plancher des wagons. Récemment la même disposition a été adoptée à Hambourg.

Hauteur. — La hauteur des hangars dépend des circonstances de leur exploitation. Si les camions y pénètrent, il doit y avoir au moins 5,50 *m* sous entraits. Dans tous les cas il importe d'y assurer l'aérage et l'éclairage et l'on est arrivé aujourd'hui aux hauteurs de 7 mètres. Dans les villes du Nord, cependant, on se contente de beaucoup moins :

Amsterdam, 3,50 *m*; Gand, 4 mètres; Anvers, 5,50 *m*; à Hambourg, la hauteur est assez grande pour que le bras des grues puisse y déposer la marchandise.

Construction. — Dans les pays où le bois est à bon marché, les hangars sont en charpente; l'inconvénient est le danger de l'incendie.

On a eu le tort de faire de même à Buenos-Ayres. La figure 204 représente un hangar en bois établi sur le quai Godefroy à Anvers.

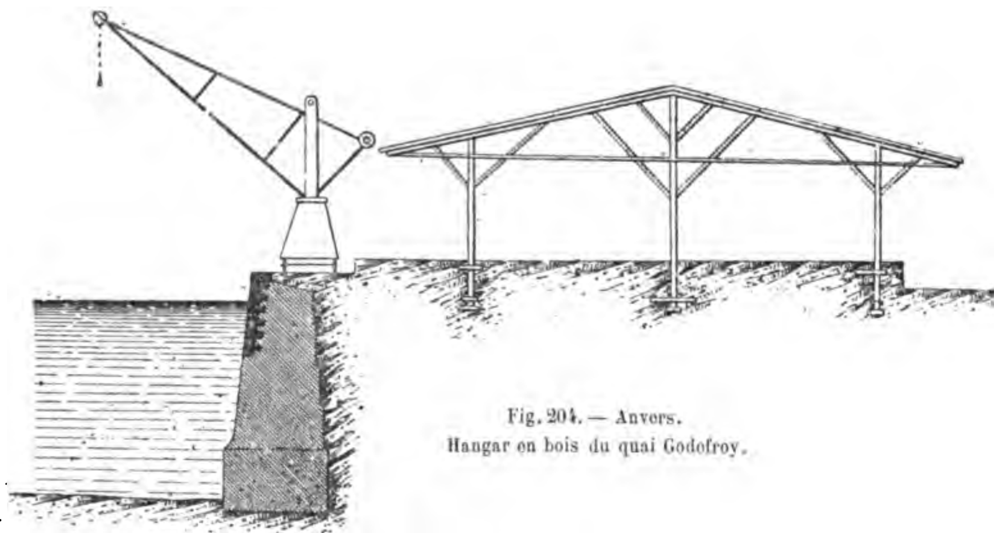


Fig. 204. — Anvers.
Hangar en bois du quai Godefroy.

Parfois, le toit est supporté par des pilastres en maçonnerie ; mais comme il importe que les appuis occupent le moins de place possible, ils se composent le plus souvent de colonnes en fonte.

Dans certains ports, les hangars sont totalement ouverts sur les côtés (Anvers) ; ailleurs les pignons au moins sont fermés par de la maçonnerie afin d'isoler les abris en cas d'incendie. La façade le long du quai ne se clôt guère que par des panneaux mobiles qui s'enroulent sur des tringles supérieures ou glissent latéralement ; à l'autre façade la clôture peut être obtenue par des murs, où sont ménagées de nombreuses portes.

Le comble est d'ordinaire en fer.

Couverture. — Elle est parfois en tuiles, mais le plus souvent en tôle ondulée, zinc, carton bitumé ou ardoises. Le voligeage en bois est très usité ; il a l'avantage de ne pas exercer de poussée sur les fermes en cas d'incendie.

Souvent le hangar porte sur les deux façades une marquise, pour le passage des piétons ; on y fait même passer une voie ferrée, sous laquelle les wagons peuvent être chargés à l'abri.

Eclairage. — L'éclairage de jour est assuré par l'insertion de carreaux dans la couverture.

A Anvers, sur toute la longueur du versant nord, près du faîtage, le vitrage de 2,10 *m* de largeur est posé sur des fers à châssis espacés de 70 *cm*. Au bassin Bellot, les vitrages ont 15 × 3 mètres sur le versant nord ; les pignons sont également vitrés en partie.

Pour la nuit, l'éclairage se fait au gaz ou à la lumière électrique. A Anvers, chaque travée (50 × 12 mètres) est munie de deux becs de gaz, éclairant chacun 300 mètres carrés. Les hangars de Tilbury sont éclairés par 1 360 lampes électriques à incandescence, tandis que les cours le sont par 80 lampes à arc de 3 000 bougies.

Sol. — C'est l'asphalte qui donne les meilleurs résultats pour le sol des hangars ; mais on a recours au pavage si les camions y circulent.

Exemples divers de hangars. — Dans les ports bien installés on trouve comme longueurs et largeurs de hangars.

	Longueur	Largeur		Longueur	Largeur
Tilbury . .	90 *m*		Brême . .	165 à 265 *m*	
Bassin Bellot	55 à 160 »	45 à 55 *m*	Stettin . .	180 »	
Hambourg .	110 à 260 »	30 à 40 »	Anvers . .		30 à 50 *m*
Rotterdam .		40 »	Gand . .		42 »
Calais . .		53 »			

Bassin Bellot (fig. 205 et 206). — Afin de proportionner les longueurs des hangars aux divers types de navires qui viennent y opérer, on leur a donné 77,50 *m*, 93 *m* et 139,50 *m* sur le quai nord ; 80 et 160 mètres au quai sud et 80 mètres sur le quai ouest. Leur largeur est de 45 mètres pour les premiers et 55 mètres pour les seconds ; les hangars du quai ouest, destinés aux navires à escales, n'ont que 27,50 *m*.

Hangars nord. — Le comble est porté par deux travées de 22,50 *m* de largeur ; les poteaux de support sont espacés de 17,50 *m* dans le sens longitudinal, ce qui ne donne que 8 piliers pour le hangar de 139,50 *m* de longueur.

La charpente métallique se compose de fermes principales espacées de 15,50 *m* d'axe en axe, reliées par des poutres longitudinales à treillis parallèles au quai, supportant deux fermes intermédiaires. Le faîtage se trouve à 11,64 *m* de hauteur.

Les pannes, hautes de 16 *cm* sont espacées de 1,60 *m*. Le voligeage est en bois de 24 *mm* d'épaisseur et porte du zinc numéro 13.

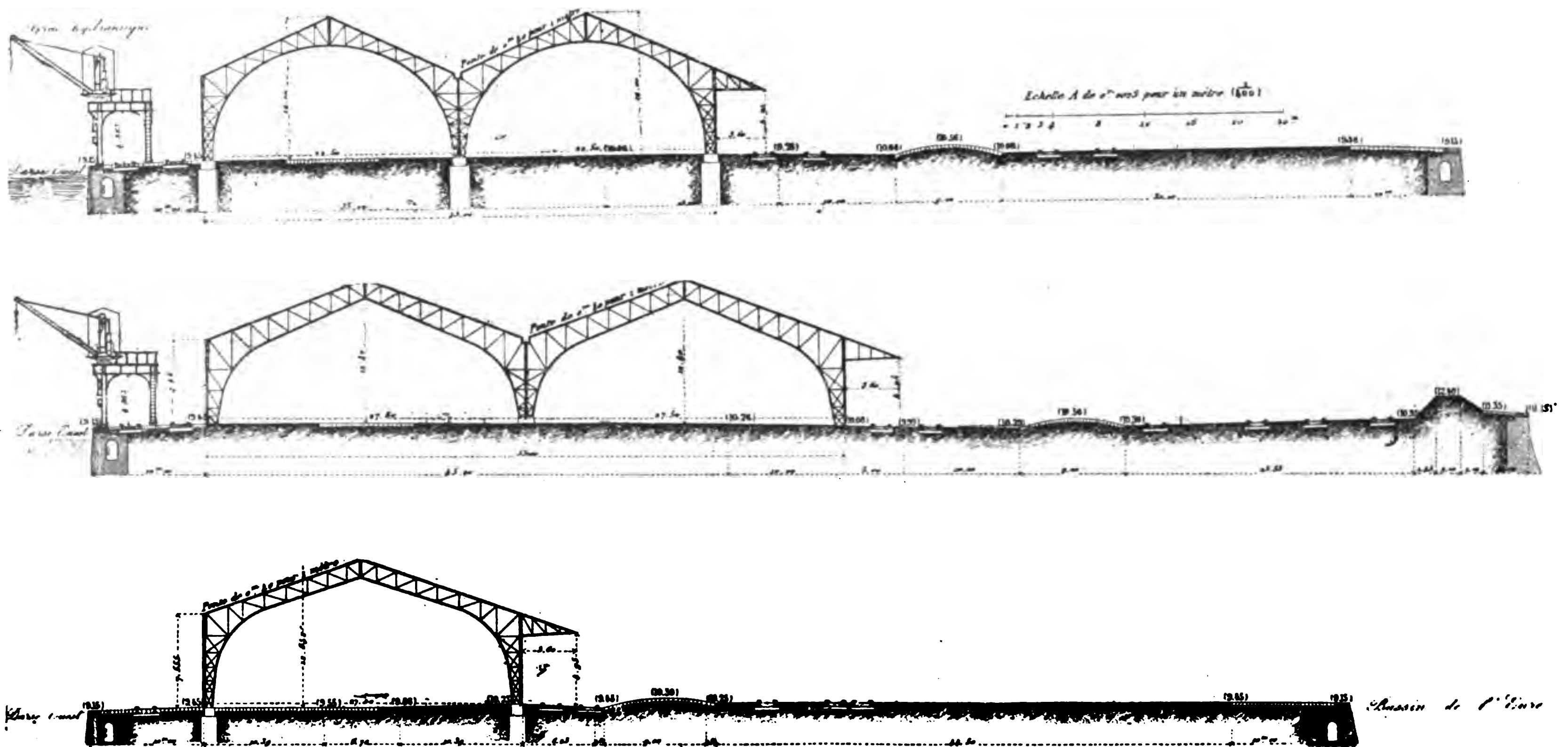


Fig. 203. — Hangars du bassin Bellot. — Coupe diverses.

A l'arrière des hangars règne, à 5 mètres de hauteur, une marquise de 5 mètres de saillie sous laquelle passe une voie ferrée.

Les hangars sont entièrement clos. Sur la face d'arrière et sur les pignons, le mur est en briques de 11 *cm* d'épaisseur; les portes ont 7,80*m* de largeur. Il y en a cinq au hangar de 139 mètres, quatre à celui de 93 mètres et trois à celui de 79 mètres. Sur les pignons, elles sont au nombre de deux. La façade du quai est close par des portes de cinq mètres de largeur qui glissent latéralement sur un chemin de roulement fixé aux sablières.

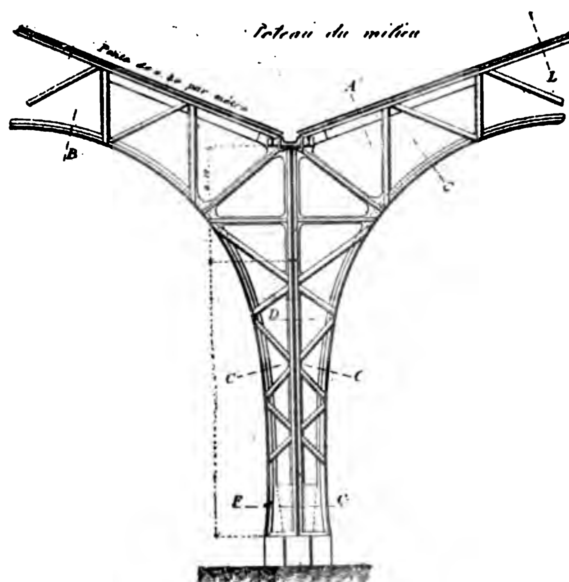


Fig. 206. — Bassin Bellot. — Hangars, quai nord.

Les hangars du sud, plus larges, sont construits dans les mêmes conditions.

Récemment, on a établi un hangar spécial aux cotons ayant 60 mètres de largeur.

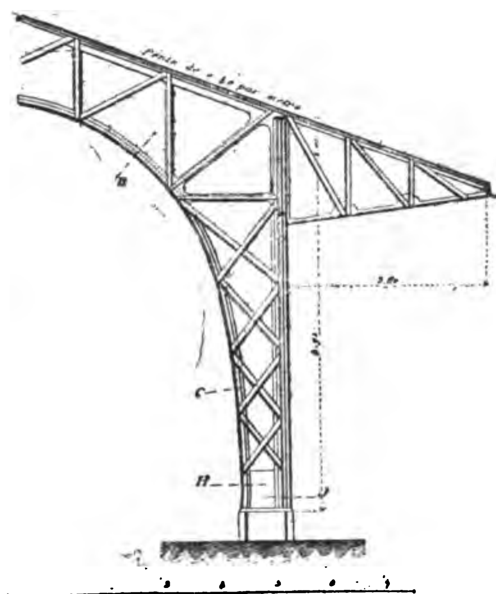


Fig. 206. — Bassin Bellot. — Poteau de rive et marquise.

Hambourg. — Un des bassins projetés à Hambourg est exclusivement destiné à la *Hamburg America Line*. Le quai sud qui a mille mètres de développement comporte trois hangars de 261 mètres de longueur et 45 mètres de largeur; ils

ont un étage, afin que chacun puisse recevoir la cargaison entière des grands vapeurs. Au quai nord, la longueur de chacun des trois hangars sera de 310 mètres. Le sol, transversalement, s'élève de 0 du côté du quai à un mètre sur l'autre façade.

Le toit des hangars à Hambourg déborde généralement les façades pour constituer des marquises.

Les hangars ont leur façade du quai ouverte, celle de terre fermée. De ce dernier côté existent 4 ou 5 lignes de voies ferrées qui servent à enlever les marchandises de transit, tandis que les colis destinés à être envoyés aux entrepôts de la ville par chalands sont manœuvrés par les grues du côté de l'eau. Tous les hangars, sauf ceux du Sandthorquai, sont en charpente et couverts de carton bitumé ; les derniers ont la façade de terre en maçonnerie et la couverture en tôle.

En 1894, la longueur des hangars était de 7 kilomètres, et la surface couverte de 156 000 mètres carrés. La largeur des hangars varie de 14,50 *m* au quai Sandthor à 33 mètres au quai Asia.

En 1889 les magasins couvraient une superficie de 33 000 mètres carrés ; ils ont en général 28 mètres de hauteur et contiennent en mètres carrés : 180 000 pour l'emmagasinage, 20 000 pour les bureaux et 22 000 pour diverses autres affectations.

Brême (pl. XII, fig. 1 et 2). — Au port franc de Brême, l'un des mieux installés qui existent, les hangars ont de 135 à 265 mètres de longueur et de 35 à 40 mètres de largeur ; ils sont séparés par des espaces de 28 mètres. Le sol est à la hauteur de la plateforme des wagons. Le hangar est entouré d'une banquette de chargement ayant 2,50 *m* de largeur du côté du quai et 2 mètres de l'autre. De ce dernier côté, la toiture forme une saillie de 17 mètres. La couverture est en carton bitumé.

Copenhague. — Le hangar, de 94 mètres de longueur sur vingt-cinq mètres de largeur, comporte une cave de 2,60 *m*, un rez-de-chaussée de 4,30 *m* et un étage de 4 mètres de hauteur : il est séparé en trois parties par un mur de refend en matériaux réfractaires qui s'élève au-dessus de la toiture. Le sol est à la hauteur du plancher des wagons. L'étage porte une galerie extérieure sur laquelle les grues déposent les marchandises destinées à cette partie du hangar.

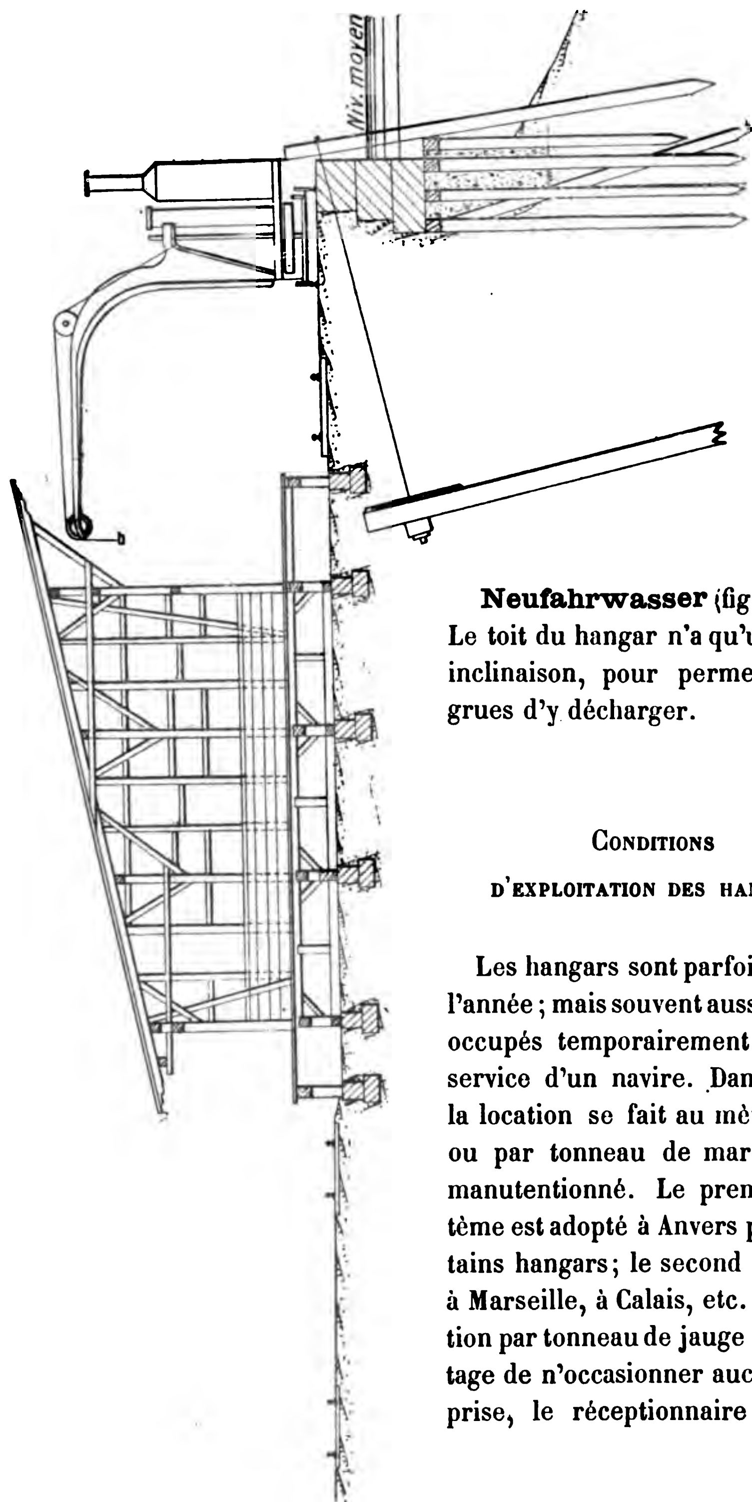


Fig. 207. — Neufahrwasser.
Quai sud du Hafon. Bassin.

Neufahrwasser (fig. 207). — Le toit du hangar n'a qu'une seule inclinaison, pour permettre aux grues d'y décharger.

Conditions d'exploitation des hangars

Les hangars sont parfois loués à l'année ; mais souvent aussi ils sont occupés temporairement pour le service d'un navire. Dans ce cas, la location se fait au mètre carré ou par tonneau de marchandise manutentionné. Le premier système est adopté à Anvers pour certains hangars ; le second est usité à Marseille, à Calais, etc. La location par tonneau de jauge a l'avantage de n'occasionner aucune surprise, le réceptionnaire sachant

d'avance le coût de l'occupation du hangar ; mais il y a lieu de mesurer le tonnage qui revient à chaque négociant, opération assez compliquée.

Au Havre, le droit de hangar est payé par le navire d'après sa jauge et aussi selon le temps d'occupation. Voici du reste le tarif qui varie, comme de juste, suivant la largeur des hangars.

Largeur du hangar occupé	Droit par jour et par tonneau	
	Vapeurs Jauge nette	Voiliers Jauge brute
	centimes	centimes
Jusqu'à 30 mètres	7	5
De 30 à 45 mètres	8	6,5
Au-dessus	9	7,5

Ce tarif est modifié dans certaines circonstances. Ainsi :

Si plus du cinquième de la longueur du navire se trouve en face non du hangar mais du terre-plein découvert, il y a lieu à une réduction proportionnelle.

Les taxes sont majorées d'un tiers si les délais fixés par les règlements du port sont excédés, sans que cette majoration donne droit de laisser séjourner les marchandises au delà des délais fixés par les règlements.

Pour toute marchandise non enlevée dans les vingt-quatre heures du débarquement, il est perçu :

Pendant les trois premiers jours : 10 centimes.

» » trois jours suivants : 15 »

Au delà de six jours : 20 centimes.

Pour toute marchandise déposée avant l'arrivée du navire la taxe est par jour de 3 francs par 50 mètres cubes ou fraction de ce volume.

Les jours non ouvrables sont déduits. Les jours se comptent de minuit à minuit ; toute demi-journée commencée est due entière.

Les taxes sont dues par les capitaines ou armateurs, mais leur sont remboursées par les réceptionnaires.

A Anvers, les marchandises en cours d'embarquement ou de débarquement ont droit à cinq journées de séjour gratuit sous les hangars. Passé ce délai le tarif est par jour et par mètre carré de :

2 centimes pendant 5 jours.

10 » » les 10 jours suivants.

20 » après ce délai.

Sur les quais non couverts les droits sont de moitié moindres.

Sous les hangars, des règlements fixent la hauteur à laquelle doivent être arrimées les marchandises. Ainsi, les rails à 1 mètre ; les bois à 1,25 *m* ; le café, le riz, le sucre, 3 mètres ; les laines, cotons, etc, 1,75 *m* ; les cristalleries et porcelaines, 1,25 *m*. Toute marchandise portable à dos, 3 mètres.

Magasins. — Dans l'Entrepôt-Royal d'Anvers, outre un droit de montée à tout étage de 5 centimes par 100 kilogrammes de marchandises ou 2 centimes par hectolitre de grains avec minimum de perception de 50 centimes, le tarif est de 70 centimes par mètre carré et par mois au rez-de-chaussée avec diminution de 10 centimes par étage. Au magasin de l'ancien Arsenal de guerre, les prix sont 1 franc au rez-de-chaussée et 60, 40 et 20 centimes pour les étages successifs.

Magasins-Entrepots

Entrepôts. — Les marchandises qui ont subi sous les hangars les diverses opérations de reconnaissance, de douanes, etc., sont les unes enlevées par des trains ou des camions ; les autres, au contraire, ne sont pas immédiatement livrées à la consommation. Ce sont celles que les négociants approvisionnent en stock considérable et dont les droits d'entrée ne seront payés qu'à mesure de leur enlèvement pour la vente.

Ces marchandises sont conservées soit dans des *entrepôts réels* dont les clefs restent entre les mains de l'administration des Douanes, soit dans des *entrepôts fictifs* où elles sont à la disposition des propriétaires, sous condition de ne les enlever qu'après paiement des taxes.

On ne soumet au régime de l'entrepôt réel que les objets frappés d'un droit considérable et sur lesquels la fraude serait trop aisée.

Les entrepôts devraient être situés le plus près possible des hangars ou des bassins ; mais dans les ports anciens surtout, où le terrain coûte très cher, il faut souvent les installer fort loin. Au Havre une partie seulement de ces magasins est placée le long du bassin-dock, créé spécielement dans ce but. Les autres entrepôts (fictifs) sont à des distances plus ou moins grandes.

Magasins. — *Nombre des étages.* — Les magasins sont en maçonnerie de pierres ou de briques ; ils comprennent en général une cave et plusieurs étages. L'obligation d'élever les marchandises aux étages est onéreuse, mais la dépense est réduite par l'emploi d'appareils de levage, monte-charges, etc. actionnés par l'eau sous pression ou l'électricité. Au Havre le nombre des étages est au plus de quatre ; en Angleterre ils sont d'ordinaire plus nombreux.

Hauteur. — *Largeur.* — La hauteur de la cave est en général de 3 mètres ; celle du rez-de-chaussée de 3,50 *m* à 5 mètres. Les étages vont en s'abaissant ensuite de 25 à 50 centimètres de l'un à l'autre.

La largeur est aussi grande que possible, mais avec la condition que le jour pénètre bien par les fenêtres jusqu'au milieu. Au Havre elle ne dépasse pas 23 mètres ; à Marseille elle atteint 39 mètres, à Saint-Katherine de Londres 40 et aux West India Docks 45 mètres. La largeur la plus convenable paraît être de 25 mètres.

Isolement. — La longueur des bâtiments n'est limitée que par la crainte de l'incendie ; à cet égard il vaut mieux les séparer par groupes, espacés d'une vingtaine de mètres. Leur longueur maxima est de 50 mètres.

Quant aux divisions intérieures, elles dépendent surtout des exigences des compagnies d'assurances.

Au Havre, les bâtiments étaient primitivement divisés par des murs de refend en salles distinctes mesurant de 12 à 20 mètres de longueur. Plus tard on reconnut que ces dimensions restreintes, gênantes pour la manutention, n'étaient pas une garantie complète contre la propagation de l'incendie et les édifices de 50 mètres de longueur n'y sont plus subdivisés.

A Hambourg le fait justement contraire s'est produit. Les entrepôts, larges de 27 mètres, étaient d'abord libres sur toute leur longueur de 51,50 *m* et leur superficie de 1 400 mètres carrés. Pour répondre aux exigences des assureurs, il a fallu limiter la surface des salles à 400 mètres carrés et même dans certains cas à 270 mètres, ce qui nécessitait des murs de refend tous les dix mètres.

A Brême deux entrepôts ayant chacun 150 mètres de longueur sur 23,50 *m* de largeur sont divisés en compartiments de 300 mètres carrés. Deux autres ayant respectivement 95 et 160 mètres de longueur sur 24 sont aménagés en salles de 740 mètres carrés. Le plus nouveau, de

170 mètres de longueur sur 29 mètres de largeur, est subdivisé en pièces de 390 mètres carrés.

En Angleterre également le morcellement est la règle. Ainsi au South West India dock, le magasin à trois étages de 45 mètres de largeur a sa longueur de 75 mètres séparée en quatre parties par trois murs intermédiaires en briques qui dépassent les toits.

Escaliers. — Les escaliers dans les magasins non morcelés sont situés aux deux extrémités d'une diagonale. Dans les autres il y a un escalier commun à deux compartiments successifs et assis par conséquent sur le mur de séparation. En Allemagne, à Brême et à Hambourg les séparations sont si rigoureuses qu'entre les compartiments il règne un couloir de 3 mètres de largeur traversant le bâtiment de part en part. A l'une des extrémités de ce couloir se trouvent d'un côté un escalier, de l'autre un monte-charges, séparés tous deux des magasins par des parois massives.

Cette précaution, peut-être excessive, occasionne une grande perte d'espace ; aussi semble-t-on renoncer aux couloirs, mais il y a alors un escalier particulier à chaque compartiment. Pour y arriver, il a fallu à Hambourg subdiviser les anciennes salles.

Les escaliers, les monte-charges sont isolés dans des cages en maçonnerie, fermées par des portes massives en fer.

On a encore séparé davantage les compartiments en plaçant les escaliers dans des tours accolées aux murs ; la communication entre l'escalier et les salles contiguës est assurée par un balcon en fer extérieur.

Une grande partie des marchandises est introduite par des fenêtres dont les dimensions sont réglées en conséquence ($3 \times 2{,}50$ *m*) et qui sont munies de poulies commandées par des treuils mobiles.

Supports. — Le plancher du rez-de-chaussée est supporté par des voûtes construites en briques de 22 *cm* d'épaisseur posées sur champ ; la solidité qu'elles réclament sera ainsi assurée ; ces voûtes portent sur des pilastres en pierres.

La charge sur les autres planchers sera au maximum de 1800 kilogrammes par mètre carré pour les trois étages inférieurs et diminuera de 300 kilogrammes par étage pour les autres.

Les poutres de support sont parfois en bois, mais le plus souvent en

colonnes de fonte; celles-ci ont l'inconvénient de céder sous l'influenee de la chaleur ou du refroidissement brusque produit par les jets d'eau en cas d'incendie.

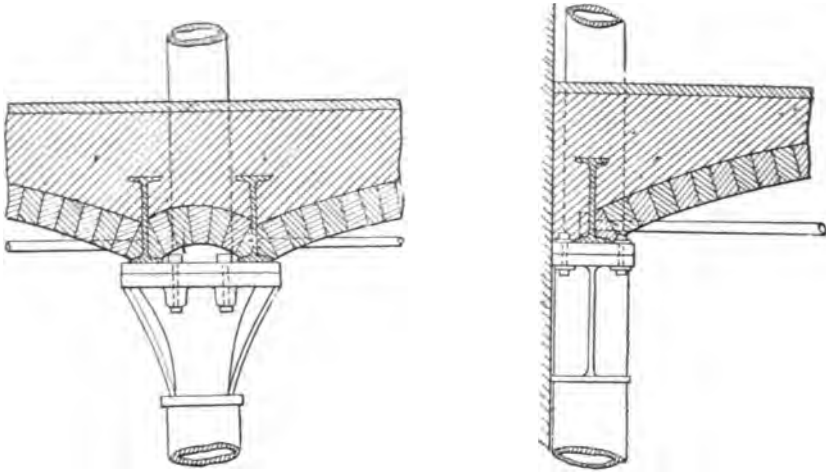


Fig. 208. — Support des voûtes des magasins.

Les murs ne doivent rien porter; des colonnes posées contre leurs parois reçoivent les extrémités des fers à T sur lesquels reposent les voûtes qui constituent les planchers des divers étages. Ces voûtes sont en briques creuses de 15 *cm* d'épaisseur recouvertes de béton ou tout en béton (fig. 208).

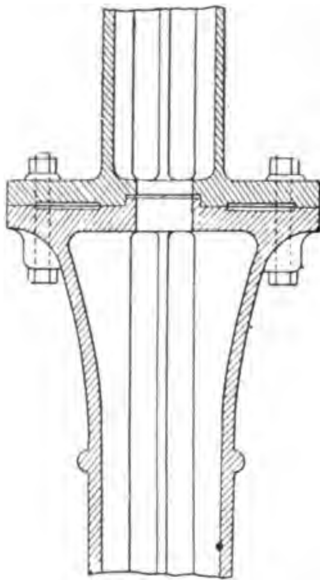


Fig. 209.
Joints entre deux colonnes superposées.

Pour assurer le mieux possible la résistance des colonnes à l'incendie, Barret recommande de mettre leur base en relation avec une conduite destinée à les remplir d'eau. L'intérieur des colonnes des divers étages est en communication continue par un joint étanche (fig. 209), l'eau y monte et s'échappe par le chapiteau de la dernière. Le liquide n'est d'ailleurs envoyé dans la conduite qu'en cas d'incendie. Des conduites d'eau sous pression sont ménagées à tous les étages.

Parquet. — Le sol du rez-de-chaussée est asphalté ou pavé. Dans

les magasins à coton on a reconnu avantageux de laisser le sol en terre battue, qui maintient une fraîcheur favorable à leur conservation.

Les autres étages sont généralement parquetés.

Aux magasins du port franc de Copenhague des précautions minutieuses ont été prises contre l'incendie. Les planchers sont construits en béton armé reposant sur des fers à T supportés eux-mêmes par des colonnes. Colonnes et fers à T sont revêtus d'une enveloppe protectrice également en béton armé.

A Hambourg les poutres et colonnes sont généralement métalliques; mais là où existent des supports en bois, les plafonds et planchers sont garantis par du béton armé.

Couvertures. — Celles en ardoises ou tuiles paraissent les meilleures.

Superficie des entrepôts dans divers ports.

	Superficie des bâtiments m^2	Superficie utile m^2
Brême . . .	18.600	94.000
Trieste . . .	46.000	147.000
Copenhague .	2 350	15.000
Le Havre . .	»	350 000

Spécialisation. — La construction et l'aménagement des magasins dépendent d'ailleurs, sous bien des rapports, de la nature des marchandises reçues dans le port et il est indispensable de se renseigner à fond auprès des négociants de la ville. Un exemple suffira pour faire comprendre l'importance de ces renseignements.

A l' Import Dock de l'East and West India dock Company de Londres on reçoit annuellement plus de 20 000 barils et 70 000 sacs de café. Tous les cafés de la même marque et de la même qualité, provenant parfois de plus de cinquante colis, doivent être mélangés ensemble sur le parquet du magasin, afin d'en contrôler le poids net pour les droits de douane ou les besoins du commerce et d'assurer le type moyen. C'est une opération très longue et qui entraîne à de grandes sujétions. Elle s'exécute aujourd'hui au moyen de machines qui économisent une main-d'œuvre considérable, vident les barils et jettent le café dans des trémies d'où il se rend dans les mêmes récipients envoyés à l'étage inférieur. Ces récipients sont battus afin de déterminer le rapide

tassement du grain qu'il est difficile autrement de faire tenir dans le même nombre de barils.

Le thé est traité à peu près de la même manière.

Magasin à tabac. — On construit en ce moment à Liverpool au sud du bassin Stanley, un magasin pour le tabac de 222 mètres de longueur sur 50 mètres de largeur. La hauteur totale atteint 40 mètres et elle est partagée en douze étages, sans compter le rez-de-chaussée. Il pourra contenir 55 000 boucauts de tabac, chaque étage ne recevant qu'une seule rangée, pour la facilité des opérations.

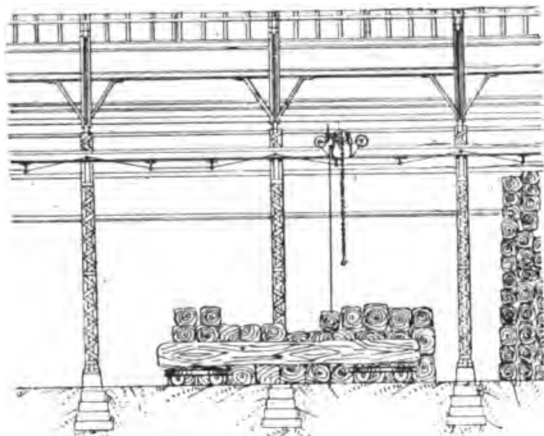


Fig. 210. — Magasin à bois. — Coupe longitudinale.

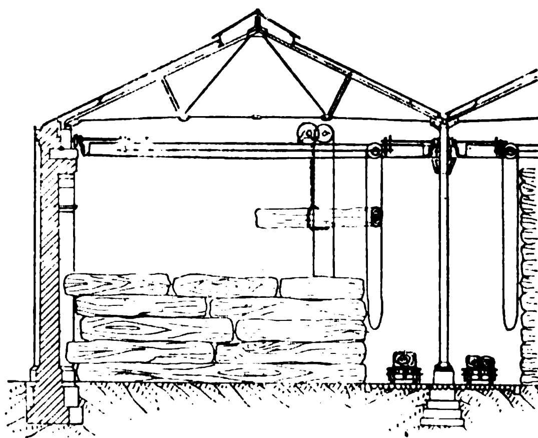


Fig. 210. — Brême, Magasin à bois. — Coupe transversale.

Le magasin est à l'abri du feu; les colonnes de fonte sont protégées par des revêtements de grès, et les planchers sont en béton armé. Le batiment est partagé en compartiments desservis chacun par des ascenseurs hydrauliques, des escaliers séparés, etc.

Magasin à bois. — Les figures 210 indiquent l'installation spéciale de Brême.

Hangars-magasins. — Dans les ports où l'espace est mesuré, le rez-de-chaussée des magasins est ouvert et sert de hangar.

On a aussi adopté avec avantage la disposition représentée par la

figure **210**. Au-dessus du hangar il n'existe qu'un seul étage en retrait. La grue décharge à volonté les marchandises soit dans le hangar soit sur le toit horizontal de la partie en saillie ; les colis sont ainsi facilement rentrés dans le magasin.

A Marseille, l'avancée du hangar sur le magasin est de quatre mètres, dimension qui a été reconnue avantageuse.

Au quai est du dock Harrington de Liverpool, où l'espace est également restreint, le magasin est à double étage : sur son toit est disposée une grue qui sera décrite ultérieurement. Le hangar, placé à 2,60 *m* de l'arête du quai, a 29 mètres de longueur ; le toit est à triple comble. La hauteur du rez-de-chaussée est de 5,35 *m* sous l'entrait ; celle de l'étage de 4,15 *m* (fig. 211).

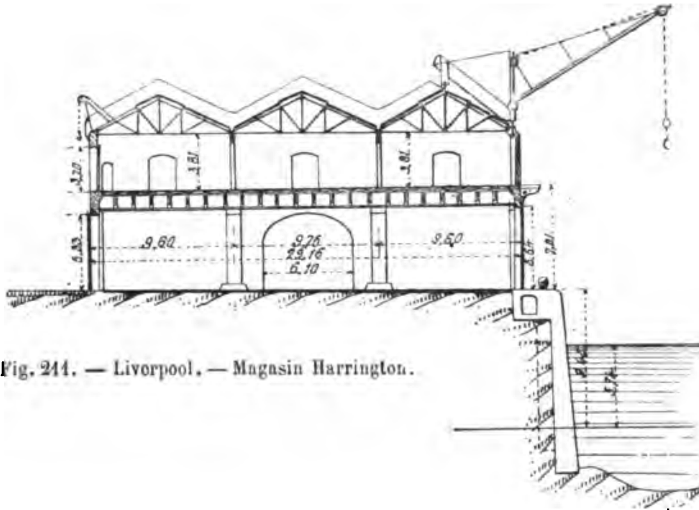


Fig. 211. — Liverpool. — Magasin Harrington.

Le rez-de-chaussée est principalement affecté aux marchandises d'exportation, l'étage à celles d'importation, de sorte qu'un navire à peine déchargé commence à recevoir un chargement. Les marchandises de l'étage peuvent être versées par un plan incliné dans les wagons qui passent derrière le hangar.

Le magasin mesure 410 mètres sur 29 et est divisé par des murs de briques en cinq compartiments. Le sol est en partie pavé de granite, en partie asphalté sur macadam. L'étage a le parquet porté par des fers à T, supportant des plaques à nervures recouvertes de carreaux cimentés. Les murs sont en briques. Le toit est métallique.

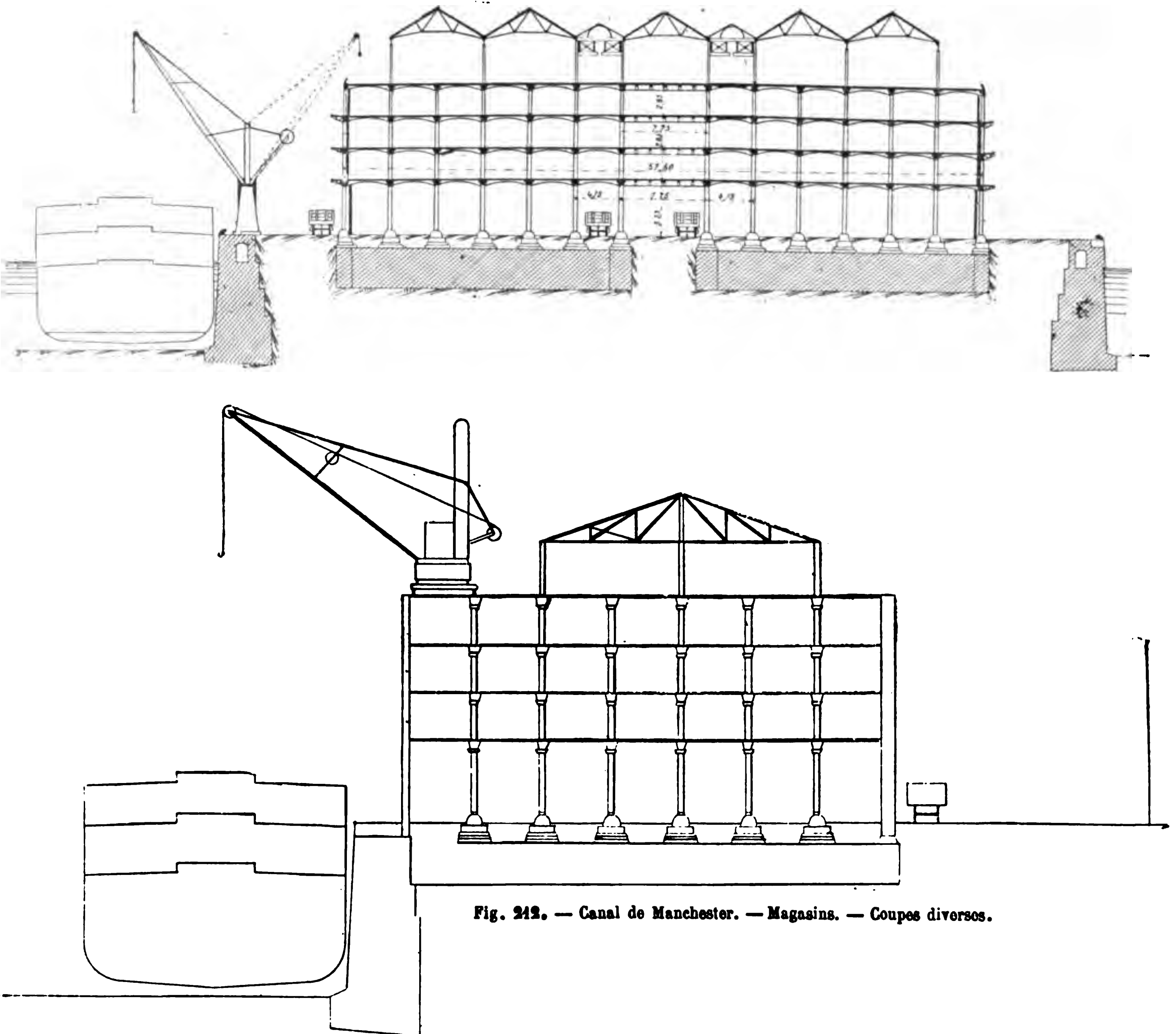


Fig. 242. — Canal de Manchester. — Magasins. — Coupes diverses.

Le toit du côté du bassin est porté sur des colonnes et les portes métalliques y sont continues.

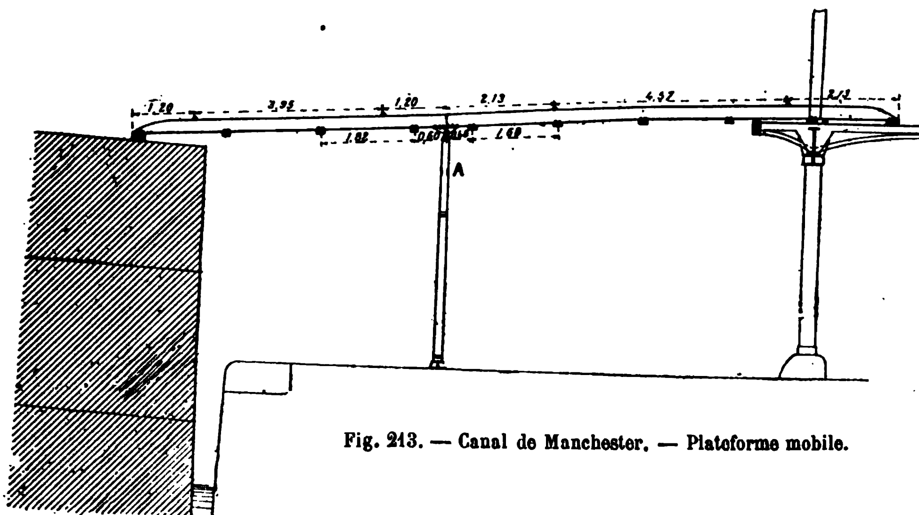


Fig. 213. — Canal de Manchester. — Platoforme mobile.

Au canal de Manchester, la nécessité d'assurer au déchargement des navires portant une cargaison variée un espace suffisant a conduit à

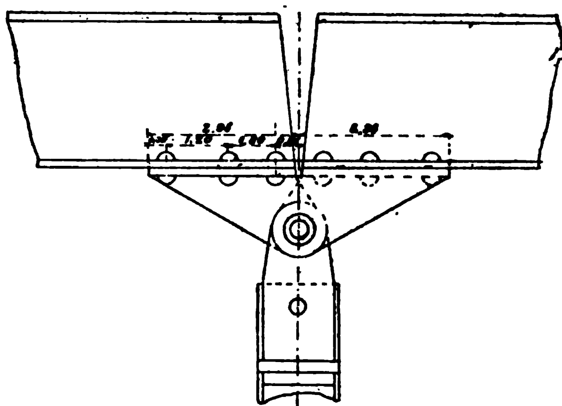


Fig. 214. — Canal do Manchester. — Joint du support do la plateforme.

donner quatre étages aux magasins qui sont construits sur un type très simple, par raison d'économie.

Devant l'un de ces magasins (fig. 212) distant de 11 mètres de l'eau, les grues, placées sur le quai, ont un bras exceptionnellement long, pour permettre le déchargement dans les étages supérieurs; dans un

autre, éloigné de l'arête du quai de 2,70 *m* seulement, les grues sont placées au quatrième étage.

La première disposition permet de placer devant le magasin des voies ferrées; les trains enlèvent immédiatement les marchandises pour lesquelles des ordres ont été reçus avant l'arrivée du vapeur. L'autre est destinée aux colis qui doivent séjourner dans les magasins.

Une plateforme mobile (fig. 213 et 214) a été disposée sur des supports télescopiques pour permettre le débarquement des marchandises dans les magasins situés à 11 mètres[1].

Pour les bois, on les décharge sur des pontons accostés contre le bord du navire opposé au quai.

Docks-entrepôts du Havre. — Le nom de docks s'applique en Angleterre aux bassins à flot; en France on l'a donné aux installations annexes de ces bassins, les magasins, etc., dont le modèle a été pris dans les ports anglais. Comme exemple de l'une d'elles, aux vastes proportions, on peut citer celles du bassin-dock du Havre.

Les hangars et magasins s'étendent au nord sur tout l'espace qui sépare ce bassin de celui de Vauban et sur toute la longueur des quais (520 mètres). Les hangars, continus, longent les quais, ont de 18 à 21 mètres de largeur et de 5,10 à 5,50 *m* de hauteur, leur distance au quai est de 8 mètres d'un côté, 5,50 *m* de l'autre.

Sur le terre-plein du nord (entre les deux bassins) s'étendent quatre rangées de magasins, séparées par trois cours couvertes, d'environ 18 mètres de largeur. Chaque rangée comprend sept ou huit bâtiments isolés par des passages couverts. La rangée du sud est attenante au hangar du bassin-dock; celle du nord est séparée du hangar Vauban par une rue de 12 mètres.

Au sud du bassin-dock, après le hangar, on trouve une rue de 10 mètres, puis une rangée de bâtiments de 32 mètres de largeur sur 45 mètres de longueur, séparés par des cours couvertes de 20 mètres, puis une autre rue de 17,50 *m* et enfin une rangée de bâtiments sans étages affectés aux alcools, huiles, etc.

Les bâtiments situés sur le terre-plein du nord ont été bâtis successivement et le nombre des étages s'y est accrû de un à trois. Les magasins du quai sud, les plus récents, ont quatre étages. Ces der-

1. Renseignements dus à l'obligeance de M. W. Henry Hunter, ingénieur en chef du canal.

niers ne sont pas non plus subdivisés comme les premiers où la longueur des salles est limitée à 15 ou 20 mètres; ici chaque bâtiment n'offre qu'une unique salle de 1 400 à 1 500 mètres carrés.

Les murs sont en briques, mais les piliers et les planchers en bois; les longrines des planchers reposent sur les murs, quoique en même temps soutenues par des poteaux adossés aux parois. Les couvertures sont en tuiles, ardoise et zinc.

Les cours sont parcourues par une voie ferrée; et toutes les voies se réunissent par le moyen de plaques tournantes à des rails transversaux.

VOIES FERRÉES

Pour les charbons, les minerais, il n'est besoin ni de hangars, ni d'entrepôts, les grues les manutentionnent directement entre les wagons et le navire. Dans ce cas, en outre de la voie spéciale aux engins de levage mobiles, les quais reçoivent, contre le bord même du bassin, trois voies ferrées, une pour les wagons pleins, une autre pour les vides et la troisième pour la circulation générale.

Comme pendant à ce cas extrême, il en est un autre extrême en sens opposé, celui où toutes les marchandises sont destinées à passer sous les hangars ou dans les magasins; ceux-ci alors se rapprochent du quai. A Marseille, aux bassins National et de la Gare Maritime, le long du quai, outre la voie des grues, il en existe une autre en prévision des cas de transbordement direct; cette voie n'est guère utilisée et sa suppression, loin d'être nuisible, aurait l'avantage de rapprocher le hangar de la grue. D'autres fois, comme à Liverpool, c'est le défaut d'espace qui n'a pas permis l'établissement de voies ferrées le long du quai.

Voies de quai. — Dans le cas le plus général, une partie des marchandises peut être enlevée directement; on ménage alors entre l'arête du quai et le hangar un espace où en plus de la voie des grues on en établit deux autres pour le service du transit. Afin d'économiser le terrain, l'une de ces voies (le Havre) ou même les deux (Hambourg, Trieste) peuvent passer sous le bâti des grues construit en portique ou

s'appuyant d'un côté sur le mur de façade des hangars (Hambourg) (fig. 215).

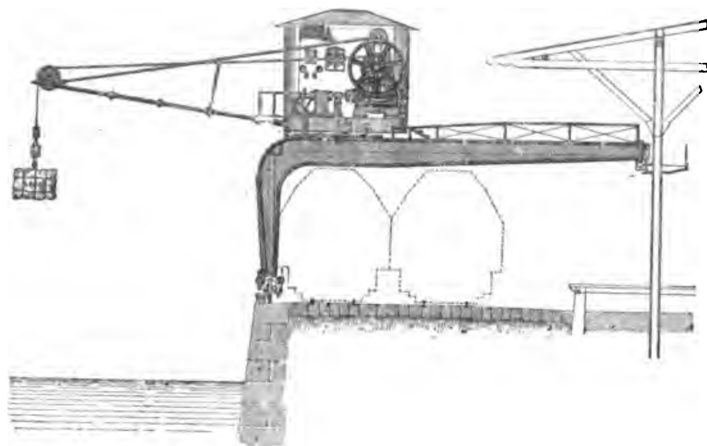


Fig. 215. — Grue do Hambourg.

Voies d'arrière. — De l'autre côté de l'abri, l'installation diffère également selon la nature des opérations. Les marchandises visitées peuvent être toutes destinées au magasin ; celui-ci est alors adossé au hangar, à moins qu'on ne dispose le rez-de-chaussée du magasin lui-même comme lieu de visite. Les voies ferrées sont alors rejetées de l'autre côté du bâtiment.

Si une partie des marchandises est de transit, le magasin est séparé du hangar par un espace suffisant pour l'installation de deux ou trois voies ferrées et d'une route charretière. Le magasin est encore desservi en dehors par deux lignes.

Dans certains bassins situés au centre de la ville à Marseille il est presque impossible de faire arriver les wagons le long des quais et traverses autrement que par plaques tournantes et un à un. C'est un procédé lent et coûteux. On n'hésite pas à donner aujourd'hui aux quais des directions obliques pour faire arriver les trains par des courbes. L'installation des bassins Freycinet à Dunkerque est un modèle du genre (fig. 219).

Même quand les traverses sont normales aux murs de quai, on peut installer des aiguillages, pourvu qu'on ait assez de place autour du Bassin (Alexandra Dock de Hull, pl. V, fig. 3; Tilbury dock, pl. IX, fig. 3). En pareil cas, il faut souvent adopter des courbes d'un faible rayon, qui peut descendre à 100 mètres.

Quand les entrepôts sont situés loin du port et ne peuvent lui être

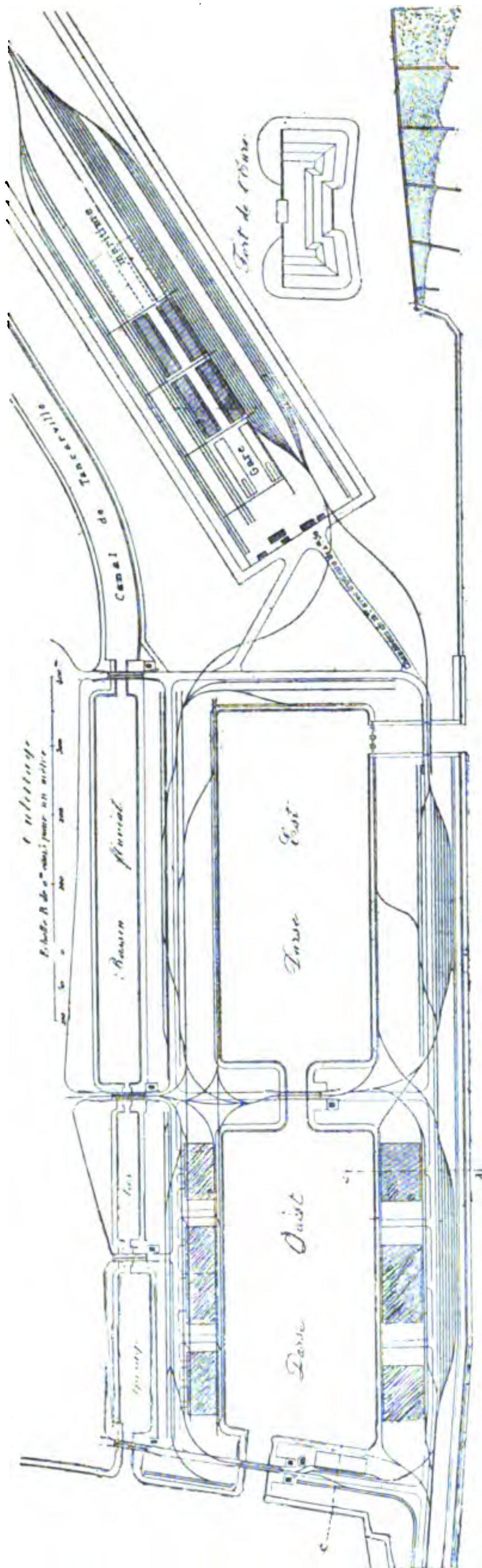


Fig. 216. — Bassin Bellot. — Disposition générale avant la création du bassin de pétrole.

reliés par des canaux comme à Hambourg, il serait économique qu'ils le fussent au moins par voies ferrées; mais dans les ports anciens il est souvent difficile ou impossible d'atteindre ce résultat.

A titre d'indications, on décrira ici quelques installations. La disposition des lieux, les exigences du commerce local, les prévisions de transactions possibles sont les facteurs de tout projet d'installation analogue, qui devra varier en conséquence.

Bassin Bellot. — Toutes les manœuvres se font par aiguillages (fig. 216). Sur la bande pavée de 10 mètres de largeur qui longe le bassin, sont placées deux voies, dont l'une est comprise entre celle des grues; la voie près de l'eau est destinée au transbordement direct, l'autre sert à la circulation et au garage.

Il existe de même deux voies derrière les hangars et deux autres après la voie charretière. Les voies de chaque groupe sont reliées par plusieurs communications.

Toutes ces voies partent de la gare maritime déjà décrite.

Dieppe. — Au quai de la gare, bassin Bérigny, il y a trois voies parallèles (fig. 217). Les wagons vides arrivent par la voie α, passent par les aiguilles *aa* sur les tronçons *bb* devant les navires et y sont chargés ; ils reviennent sur la ligne β par les aiguilles. Ce quai est affecté

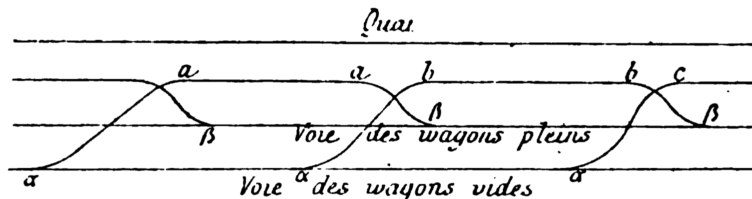


Fig. 217. — Voies du bassin Bérigny, Dieppe.

au déchargement du charbon, et il peut opérer la manutention de plus de 1 700 tonnes par mètre carré et par an. S'il s'agissait de charger des navires, la manœuvre s'opérerait en sens inverse.

Dunkerque. — Sur la traverse n° 1, par exemple, dont la largeur est de 170 mètres, on trouve (fig. 219) :

1° La voie des grues roulantes, à écartement normal ;

2° La voie des wagons en chargement ;

3° Les hangars ;

4° Cinq voies ferrées parallèles, savoir: la première pour les wagons pleins ; la deuxième pour les vides ; la troisième pour les trains arrivant ; la quatrième pour ceux qui partent ; et la cinquième pour les manœuvres des machines. Toutes ces voies sont réunies entre elles.

5° Une voie charretière de 15 mètres de largeur ;

6° Des magasins de 30 mètres de largeur.

De l'autre côté des magasins, les installations comprises sous les cinq premiers numéros reparaissent dans le même ordre, pour le service de la darse n° 2.

Avec cette disposition, la manutention des marchandises ne saurait être arrêtée du fait du camionnage, et ne peut être limitée que par les opérations des navires eux-mêmes.

Anvers. — La principale installation de voies à Anvers est celle qui dessert les quais de l'Escaut. Le terre-plein y a en général 100 mètres de largeur, divisés en quatre parties.

La première, le long du quai, a 6,40 *m* ; elle comprend deux voies, dont l'une sert aux grues roulantes ; elle a 4 mètres de largeur.

La voie de service n° 1 a ses rails compris entre ceux de la précédente, de sorte que les wagons passent sous le bâti des grues ; cette voie permet le transbordement direct entre wagons et navires.

Puis viennent les hangars, occupant une largeur de 50 mètres. Sous les hangars, près du terre-plein nu qui se trouve de l'autre côté, passe la voie ferrée n° 2.

Le terre-plein nu a environ 25 mètres de largeur ; il comporte les quatre voies n°s 3, 4, 5 et 6.

Au delà enfin se trouve une rue de 20 mètres.

Les lignes 5 et 6 sont les principales, raccordées avec les gares ; celle n° 5 sert aux trains montants, l'autre aux trains descendants.

La voie n° 4, dite de dépôt, reçoit les wagons amenés par les trains ; la voie n° 3, dite d'enlèvement, ceux que les trains doivent emporter ;

La voie n° 2 sert au chargement ou au déchargement des wagons, comme la première, mais est spécialement affectée au service des hangars.

Des aiguillages relient, de distance en distance : d'une part les voies 5 et 4 (dépôt et trains montants au port) ; d'autre part, les voies 6 et 2 (enlèvement et trains descendants à la gare).

Enfin, dans les rues qui séparent les hangars, se trouvent des tronçons de voies ferrées, reliant ensemble, par des plaques tournantes, les lignes 1, 2 3 et 4.

Un train arrivant de la gare par la ligne 5 a sa machine à l'arrière, celle-ci refoule, par chaque aiguillage, le nombre de wagons nécessaire sur la voie de dépôt n° 4 ; puis elle va à l'extrémité de la ligne, passer sur la voie n° 6, et de là elle prend en passant, par les aiguillages, les wagons de la voie d'enlèvement.

La manœuvre des plaques tournantes, pour faire passer les wagons 3 et 4 sur les lignes 1 et 2 se fait par des chevaux ; mais on y applique en ce moment des cabestans hydrauliques.

Gand. — A Gand, les hangars sont à 11,36 *m* du bord du quai. Cet espace comprend :

1° La voie des grues, ayant 2,25 *m* écartement ;

2° Deux voies ferrées (n°s 5 et 6), destinées au chargement direct par des grues.

Les hangars, au nombre de cinq, de 100 mètres de longueur chacun, et séparés par un intervalle de 22 mètres, ont 42,50 *m* de largeur, mais séparés en deux combles.

Une troisième voie ferrée (n° 4) passe au rez-de-chaussée du hangar, en arrière ; puis viennent trois autres voies (n°s 3, 2 et 1), et enfin une rue de 15 mètres de largeur, le tout formant 90 mètres.

Les trains arrivent par la voie 1, et les wagons vont sur la voie de dépôt n° 2. Les voies 4, 5 et 6 servent au chargement et la voie n° 3 à l'enlèvement, c'est-à-dire qu'on y place les wagons destinés à repartir par la voie n° 1.

Marseille. — Les voies ferrées des traverses de Marseille sont reliées aux voies principales par des plaques tournantes, excepté à la traverse de la Pinède où l'on a pu employer des courbes.

Dans ce cas, on peut abaisser le rayon des courbes, puisque la vitesse est très faible dans ces manœuvres. Les courbes sont surtout utiles lorsque la marchandise peut passer directement du navire au wagon, sans avoir besoin de séjourner sur les terre-pleins, car on augmente ainsi beaucoup la manutention journalière. Pour Trieste, M. Barret proposait des courbes de 90 mètres de rayon.

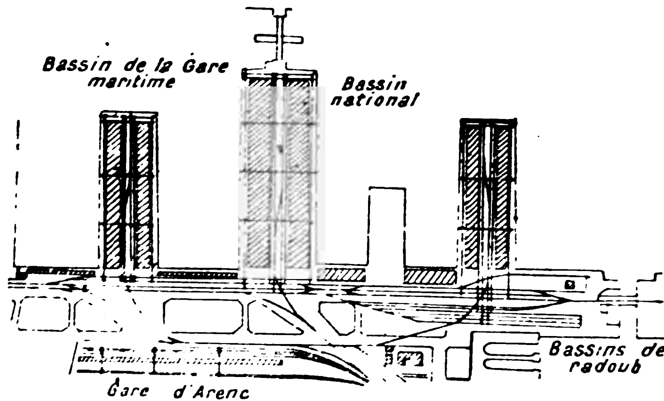


Fig. 218. — Marseille. — Quai de rive.

La figure 218 représente le plan du quai entre les docks et la passe des bassins du radoub.

Trieste. — Quand on a des quais d'une largeur insuffisante, qu'on doit consacrer entièrement aux magasins, on fait passer les voies ferrées à travers ces constructions. C'est ce qu'a projeté M. Barret pour le port de Trieste (fig. 218 *bis*).

Tilbury. — Deux voies ferrées longent chaque façade des hangars,

desservies par des aiguilles; un seul tronçon très court a exigé une plaque tournante. Les courbes maxima ont 120 mètres de rayon. Les wagons passent sous le piédestal de 56 grues mobiles de 1 500 kilogrammes qui se raccordent par des tuyaux télescopiques avec des valves hydrauliques espacées de 8,50 *m* le long des quais. L'eau douce est amenée le long des quais par des conduites de 125 *mm* de diamètre, portant des prises pour l'incendie (hydrants) tous les 50 mètres.

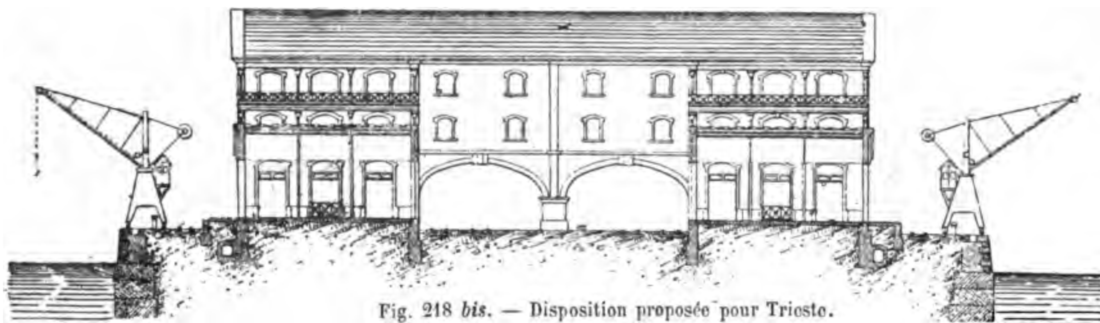


Fig. 218 *bis*. — Disposition proposée pour Trieste.

La longueur des traverses (490 mètres) a été calculée pour l'accostage de 4 navires de 120 mètres de longueur; chacun d'eux a à sa disposition un hangar de 92 mètres de longueur sur 40 mètres de largeur. Les deux façades des hangars sont ouvertes sur une largeur de 73 mètres, mais peuvent être closes par des rideaux en acier qui s'enroulent sur la traverse du toit. Les hangars sont parquetés.

Gare maritime. — Il y a intéret à rapprocher des bassins la gare de triage et de formation des trains qui les desservent. Celle du bassin de Bellot, qui a 18 hectares de surface, est placée à l'extrémité du bassin des pétroles et est raccordée aux quais par des courbes dont le rayon ne descend pas au-dessous de 150 mètres.

L'espace occupé est un rectangle de 970 >< 180 mètres. De chaque côté d'une cour centrale se trouve une série de trois quais de chargement, dont un couvert et deux découverts; chacun de ces quais a 90 mètres de longueur et 18 de largeur.

De la cour centrale se détachent deux autres voies longitudinales destinées aux opérations à quai. Au nord de la première se trouve un groupe de deux voies de chargement; un nouveau groupe de trois voies est placé au nord de la première série de quais de chargement. Au nord de la deuxième série de quais il y a deux groupes de voies contenant ensemble douze lignes, servant les unes au chargement, les

autres au remisage et au triage. Les neuf premières voies, en partant du sud, situées de chaque côté des cours et quais, sont reliées par des communications normales avec plaques tournantes. Enfin deux voies de manœuvre sont placées de chaque côté, celle de raccordement avec la grande gare de triage de Graville, située à quelques kilomètres en avant du Havre.

Installations spéciales de Liverpool. — Même lorsque les marchandises sont de transit, il n'est souvent pas possible de les transborder sur les wagons. Ainsi, à Liverpool, la plupart des cargaisons se composent de colis appartenant à de nombreuses consignations. Là où, au contraire de ce qui se passe en France, il y a plusieurs compagnies de chemins de fer desservant le port, il y aurait une véritable lutte de la part de chacune d'elles pour obtenir le prompt chargement de leurs wagons. Aussi, a-t-on préféré tout déposer sous les hangars, où les camions viennent enlever les marchandises.

De même pour l'exportation, il y aurait grande confusion à laisser les compagnies envoyer le long des quais leurs wagons porter les marchandises que les navires sont pressés d'enlever. On dépose de même tout d'avance sous les hangars.

Il y a certainement du vrai dans ces raisons, données par l'ingénieur du port pour expliquer le faible développement des voies ferrées à Liverpool, 44 kilomètres en tout ; mais les installations défectueuses sont surtout le résultat du peu d'espace dont il disposait.

LARGEUR DES QUAIS

Les quais doivent être assez larges pour recevoir les hangars, magasins, voies ferrées ou chantiers, etc.

Dans les ports à grand trafic, la largeur des quais, non compris les magasins, atteint 100 mètres. Leur affectation aux divers services varie beaucoup avec la nature du trafic du port, l'espace disponible, etc. Voici quelques exemples qui indiqueront la disposition dans les principaux ports.

Bassin Bellot.	Largeur en mètres quai nord	quai sud
Bande le long du mur de quai . . .	10	10
Hangars, largeur	45	55
Zone des voies ferrées.	15	15
Chaussée de service	9	9
2me zone de voies ferrées.	10	27
	89	116

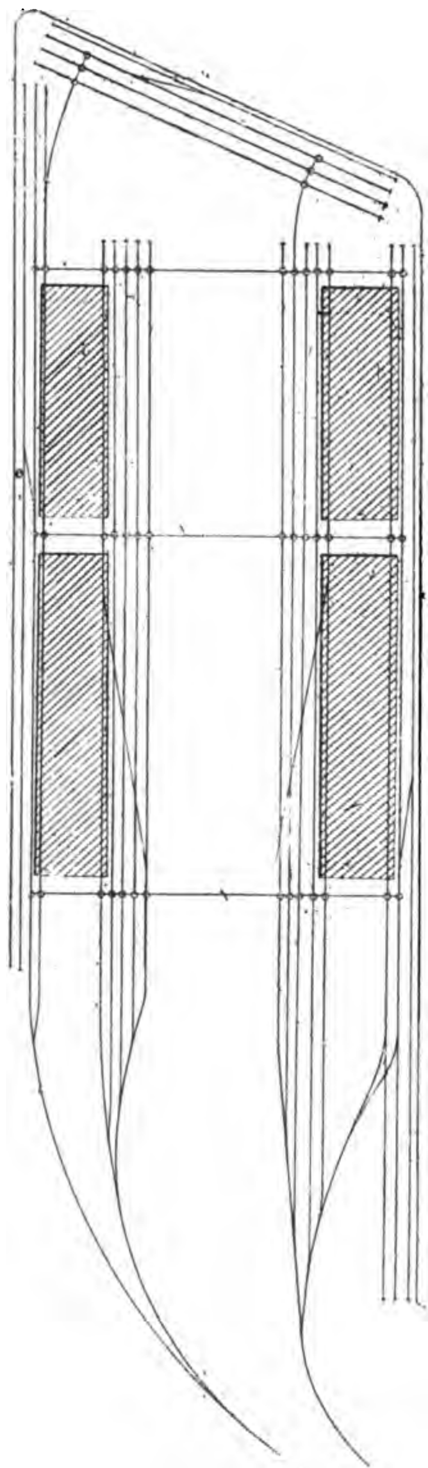


Fig. 219. — Dunkerque. — Aménagement de la traverse n° 1.

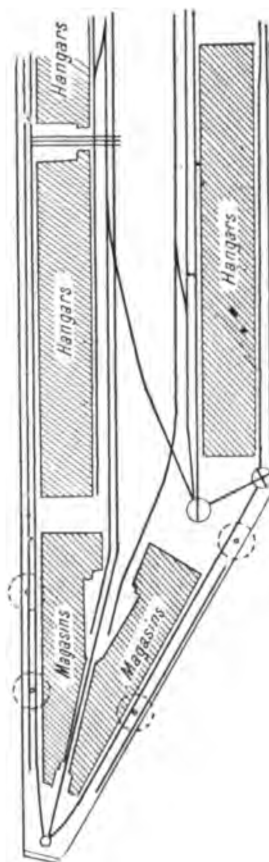


Fig. 220. — Hambourg — Traverse entre les bassins Sandthor et Grasbrook.

Les quais de la darse ouest ne comportent par de hangars et sont réservés aux marchandises qui peuvent être déposées à l'air.

Dunkerque. — Au môle n° 1 des bassins Freycinet, dont la largeur est de 170 mètres, la disposition est la suivante :

	Largeur m
Bande le long du mur de quai . . .	10
Hangars.	30
Cinq voies ferrées occupant une largeur de	15
Voie charretière	15
Magasins de	30

De l'autre côté des magasins les installations reparaissent dans le même ordre pour le service de la darse n° 2.

Anvers.

	Largeur m
Bande le long du mur de quai	6,40
Hangars	50
Terre-plein	25
Rue	20
	101,40

Gand.

	Largeur m
Bande le long du mur de quai	11,36
Hangars	42,50
Voies ferrées	21,14
Rue	15
	90,00

Marseille. Nouveau bassin de la Pinède.

	Largeur m
Bande le long du mur de quai . . .	7
Hangars	31
Voies ferrées	14
Voie charretière.	11
Trottoir	5
	68

Hambourg. — La figure 220 représente à $\frac{1}{3\,000}$ la traverse entre les bassins Sandthor et Grasbrook à Hambourg.

Bande le long du mur de quai	8
Hangar.	24
Voies ferrées	18
Rue.	18

La même disposition se reproduit de l'autre côté de la rue.

Le long du bassin, en outre de la voie des grues, il y en a une pour les wagons. Derrière les hangars existent trois lignes, une pour le chargement, deux pour les trains montant et descendant.

Les figures de la planche XII représentent la disposition des quais du Hafen-Becken, le principal bassin de Brême (2 000 mètres sur 120).

Au bord du bassin, sur le quai de 11,50 *m* de largeur, circulent les grues mobiles, dont les roues reposent sur des rails placés l'un le long de l'arête, l'autre sur la façade du hangar; deux voies ferrées sont installées sous le portique de ces grues.

Derrière les hangars se trouvent, sur un espace de 21,30 *m*, deux voies ferrées puis une route. Les magasins qui bordent la route ont 23,50 *m* de largeur, et au delà on trouve encore au moins une voie ferrée. La largeur totale de l'arête du quai jusqu'à l'arrière du magasin est donc de 91 mètres.

Les hangars, sur leur partie postérieure, sont desservis par des grues fixes semblables à celles du quai et qui peuvent enlever du trottoir les marchandises, pour les déposer sur les wagons, les camions ou à tous les étages des magasins. Il y a donc là une installation très complète et très bien entendue.

EMMAGASINAGE DU PÉTROLE.

Le commerce du pétrole se fait en barils ou *en vrac*. Dans ce dernier cas le transport s'effectue par des navires spéciaux à cale étanche.

Transport en vrac. — *Conduite de déchargement.* — Les bateaux pétroliers se vident par leurs propres moyens. La pompe refoule le liquide au réservoir par une conduite en fer de 15 centimètres de diamètre, posé sur le sol ou à une faible profondeur dans un canal en maçonnerie (fig. 221).

Cette conduite se prolonge jusque dans la cale du navire par un tuyau flexible. A terre, des robinets de vidange sont placés de distance en distance sur les tuyaux; ils servent à vider complètement la conduite avant de commencer la réception d'un navire. Des soupapes à échappement d'air y existent également. Enfin il faut pouvoir, par une conduite dérivée, envoyer les premières quantités pompées dans une cuve de décantation, car elles contiennent souvent des impuretés.

Les tuyaux sont essayés à la pression de 4 kilogrammes par centimètre carré.

Ils descendent jusqu'au fond du réservoir, afin d'éviter toutes déperdition. En les faisant pénétrer par la partie supérieure les fuites sont évitées.

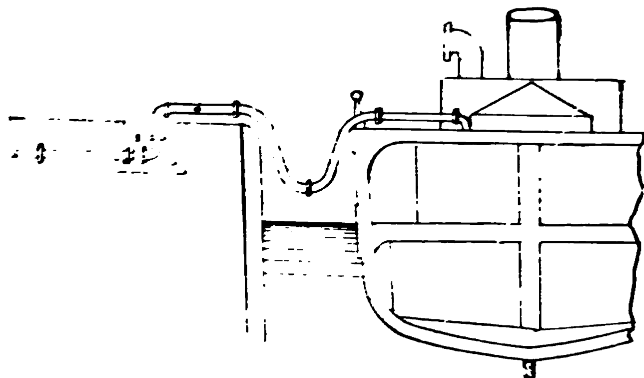


Fig. 221. — Débarquement du pétrole.

Construction des réservoirs. — Les fondations des réservoirs demandent à être très soignées; ils contiennent de 500 à 4000 mètres cubes suivant l'importance du port. Cylindriques, leur diamètre varie de 9 à 25 mètres, leur hauteur de 6 à 12 mètres.

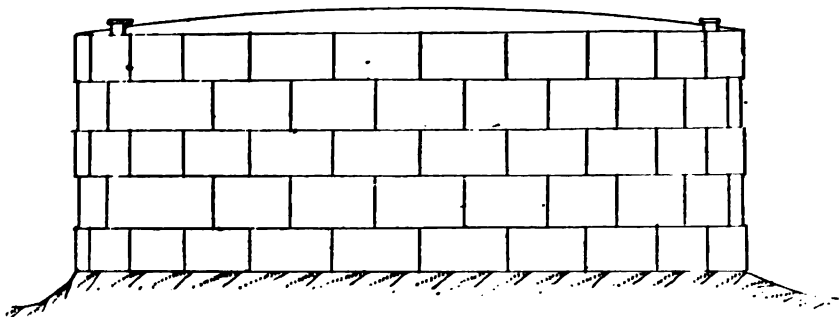


Fig. 222. — Réservoir de pétrole.

Le fer constitue le meilleur des matériaux pour ces réservoirs, car il résiste bien à l'action des acides dont il reste souvent dans le pétrole des traces provenant du raffinage (fig. 222).

Afin de diminuer le nombre des trous de rivets on emploie des tôles épaisses, ce qui supprime les plaques de renfort; les feuilles sont aussi grandes que possible.

Les coutures verticales et celles qui relient les cornières du fond aux tôles latérales sont à double rangée de rivets. Elles sont calfatées à l'intérieur et à l'extérieur.

Le toit est en dôme très aplati dans les pays froids ; dans les climats chauds il est plat et recouvert d'eau souvent renouvelée. Des trous d'homme y sont ménagés pour le nettoyage. Une ventilation énergique est indispensable.

Les réservoirs sont éprouvés en les remplissant d'eau.

Ils sont construits sur un terrain isolé et entourés d'un large fossé où s'écoulerait le liquide en cas d'accident. A Anvers, ce fossé étant insuffisant a été relié à une dépression située entre le quai et les fortifications. Le liquide y serait conduit par des tunnels en maçonnerie où les flammes s'éteindraient s'il y avait un incendie.

La cour où sont édifiés les réservoirs est enfin close d'un mur épais assurant l'isolement.

Le remplissage des réservoirs est effectué en tenant compte de la dilatation qui est de 1 % pour 13°.

Vidange des réservoirs. — Le pétrole est délivré aux barils par une conduite où l'écoulement s'opère par gravité si c'est possible, ce qui exige que le fond du réservoir soit plus haut que le quai, ou autrement par l'action d'une pompe. Le diamètre de la conduite est de 12 à 15 centimètres.

Avant l'usage, les barils sont passés à la vapeur, puis séchés. Cette opération étant longue et coûteuse, la préférence est donnée aujourd'hui aux wagons-citernes.

Emmagasinage des barils. — Le pétrole arrivant par barils est conservé dans des magasins spéciaux, en briques ou en maçonnerie.

Une bonne précaution, prise à Anvers, est le doublement des murs de ces magasins de façon à laisser entre eux un vide rempli d'une couche d'air qui empêche l'élévation de la température.

Ces magasins d'Anvers constituent quatre blocs de magasins de 45× 7 mètres. Leur toit consiste en voûtes cintrées reposant sur des fers à T, avec un léger voligeage supportant des tuiles. Les voûtes sont encore recouvertes d'une couche de cendrée de dix centimètres d'épaisseur.

Des talus en terre gazonnée, appuyés à l'extérieur des murs, contribuent à entretenir la fraîcheur.

Bien entendu les mêmes précautions que pour les réservoirs doivent être prises afin d'empêcher l'irruption du pétrole dans les terrains avoisinants en cas de sinistre : fossés contenant toute la quantité du liquide emmagasiné et même 10 ou 15 % en plus, murs isolants, etc.

Les magasins doivent présenter peu de portes et autant que possible seulement dans leur longueur. Les fenêtres sont d'ordinaire tenues fermées. Cette sujétion, très fâcheuse au point de vue de l'aération, est nécessitée comme précaution contre la malveillance. Nous avons remédié à l'inconvénient en disposant, en outre des fenêtres, des lucarnes d'aération en chicane, l'ouverture intérieure étant plus haute que l'extérieure.

Une défense complète contre la foudre est indispensable. Le mur de clôture doit être assez éloigné pour que la cour suffise à la réception des barils.

On a remarqué qu'une température uniforme dans l'intérieur des magasins diminue les pertes de liquide.

Magasins d'Herculanum Dock, Liverpool. — On a excavé dans les falaises qui bordent les quais de l'est et du sud aux docks d'Herculanum à Liverpool soixante magasins capables de contenir 60 000 barils. Ils sont séparés par des pans de rocs et fermés par des portes en fer. Les seuils de ces portes sont à 1,35 *m* au-dessus du sol; le contenu des barils resterait dans le magasin en cas d'accident.

Les barils dans lesquels est vendu le pétrole se trouvent dans des magasins situés en contre-bas des réservoirs et sont chargés par gravitation; de même les wagons-citernes.

Les barils vides, pris par un élévateur conduit par une machine à gaz, sont déposés sur un plan incliné, qui les conduit aux divers ateliers de réparations, peinture, etc.

Bassins. — Dans la plupart des grands ports, un bassin spécial est réservé au trafic du pétrole. A Hambourg, le Petroleumhafen est complètement séparé des autres bassins, ce qui est un grand avantage dû à la situation sur l'Elbe. En général, les navires pétroliers ont à traverser les bassins ordinaires avant d'entrer dans celui qui leur est réservé.

A Marseille, ils opèrent à l'heure actuelle dans un coin du bassin National isolé par une fermeture flottante, mais dans celui de la Pinède

en construction, il sera réservé un espace spécial avoc une entrée de 25 mètres de largeur close par un caisson.

Au Havre le bassin est à l'est de celui de Bellot. De forme trapézoïdale il a 70 mètres de largeur et une longueur moyenne de 215 mètres. Son entrée, de 17 mètres de longueur, peut être fermée au moyen de ceintures flottantes. Les quais sont inclinés et perreyés; celui du nord est réservé au pétrole en vrac, celui du sud aux barils.

A Anvers, c'est le bassin America qui est affecté à ce trafic.

Le Petroleumhaven d'Amsterdam est un bassin complètement isolé qui a la forme d'un fer à cheval, forme choisie pour ménager une double entrée permettant aux navires, en cas d'incendie, de quitter le bassin par l'issue qui leur offre le plus de sécurité. Comme principe, la disposition est à recommander. Les entrées, larges de 31 mètres, sont fermées par des poutres en fer mobiles.

La longueur du bassin est de 911 mètres, sa largeur de 171 mètres; les navires s'amarrent à des pieux distants de 120 mètres; ils sont maintenus à 10 mètres du rivage par des ducs d'Albe, les allèges ayant ainsi la facilité de se placer entre le bâtiment et le quai. Les fûts sont roulés sur des plans inclinés; le pétrole en vrac est déchargé par les moyens du bord. Les magasins, hangars, etc., sont disposés autour du du bassin.

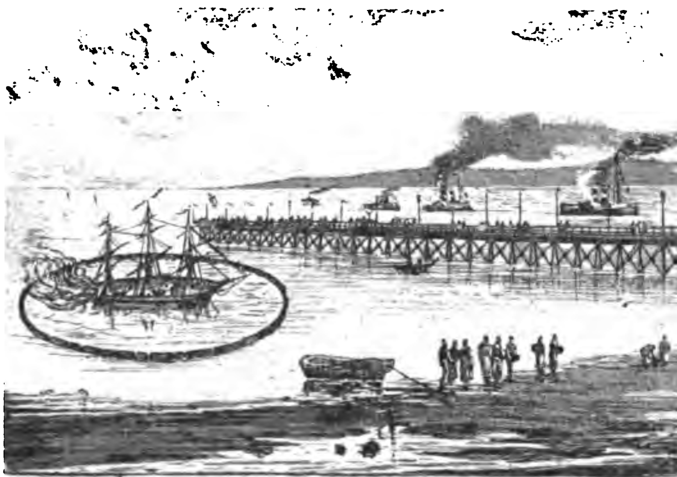


Fig. 223. — Isolement d'un navire.

Clôture des bassins. — Pour circonscrire l'épandage du pétrole, qui reste à la surface de l'eau en cas d'explosion d'un navire, on em-

ploie dans divers ports des barrages flottants. Celui que représentent les figures 223 et 224 est composé d'éléments de 10 mètres de longueur sur 80 *cm* de hauteur et articulés ensemble, de façon à constituer une

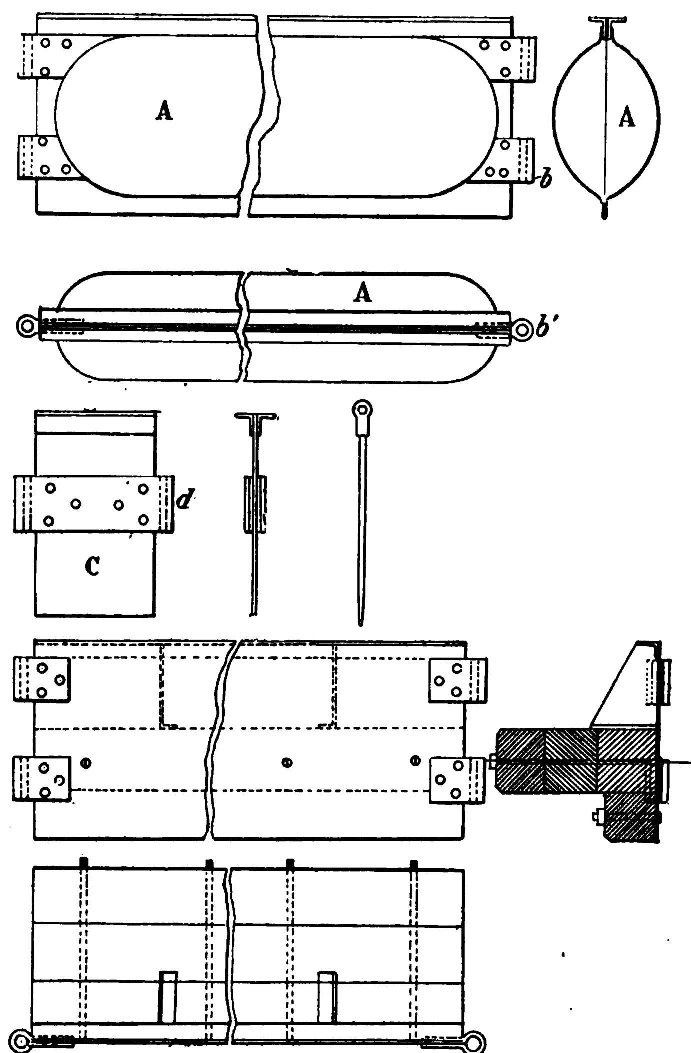


Fig. 224. — Élévation, profil, plan, détails, du barrage Raffart.

enceinte continue fermée. Ces éléments sont des cylindres en tôle creux étanches, dont les bouts extrêmes sont aplatis et forment des douilles. Entre deux éléments, on glisse une plaque de tôle, portant

également des douilles qui correspondent à celles des cylindres ; le tout est réuni par une longue goupille cylindrique, autour de laquelle cylindres et plaques peuvent tourner.

On peut constituer le barrage par des madriers superposés recouverts de tôle contre le feu, et articulés à leurs extrémités.

VIANDES CONGELÉES

L'importation des viandes congelées a déterminé dans plusieurs docks anglais la construction de magasins spéciaux. Ce commerce, qui n'a commencé qu'en 1881, a pris depuis cette époque une grande extension et en 1896 il est entré en Angleterre plus de 300000 tonnes de bœuf.

Les magasins du Victoria Dock ont une capacité supérieure à vingt-cinq mille mètres cubes, ceux du West India Dock à 12000 et ceux de West Smithfield à 10000 mètres cubes. On compte que dix carcasses de mouton peuvent être emmagasinées par mètre cube.

Victoria dock. — Au dock Victoria, les magasins sont en bois et ne comprennent que deux étages, hauts chacun de 3 mètres. Situés le long du bassin, ils sont entourés de trottoirs le long desquels circulent des trains qui peuvent recevoir la viande du navire lui-même ou du magasin et qui l'emportent aux centres de consommation.

Le sol du rez-de-chaussée n'est élevé que de quelques centimètres au-dessus du terrain environnant. On y pénètre par des ouvertures réduites situées à 1,35 *m* au-dessus du sol et qui donnent dans une petite pièce d'attente, munie de portes de communication avec les chambres de réfrigération.

Grâce à cette disposition, la couche inférieure d'air froid de 1,35 *m* de hauteur n'a pas de tendance à sortir et la perte en est réduite.

Les portes ne servent qu'au personnel ; la viande est reçue et livrée par des guichets situés aussi à 1,35 *m* du sol et de deux dimensions emboîtées l'une dans l'autre, afin de n'ouvrir qu'en raison des morceaux à passer, les plus petits pour le mouton, les autres pour le bœuf. Pas de charnières, ni de gonds, les panneaux de fermeture s'enlèvent ou se juxtaposent ; il n'est pas possible ainsi de déchirer les enveloppes des carcasses.

Aux murs, portes, guichets, plafonds, le moindre vide est rempli

d'une substance isolante, la meilleure étant le laitier à filaments qu'on peut, en cas d'impossibilité, remplacer par du charbon de bois tassé. Les bordages sont recouverts intérieurement de papier goudronné en deux couches. Les contacts des bois entre eux sont évités par l'interposition de feutre.

Les planchers sont formés d'un châlit de béton recouvert d'asphalte, car il faut éviter l'humidité à tout prix. Sur l'asphalte est posé un parquet de bois bien goudronné, recouvert de deux feuilles de papier également goudronné. Vient encore un plancher qui porte des voliges entre lesquelles est tassé du charbon de bois et protégées par des bandes de feutre. C'est sur tout cet ensemble qu'est cloué le véritable parquet. Cet exemple indique les précautions extrêmes qui sont nécessaires pour éviter la déperdition du froid.

West India Dock. — Les magasins du West India Dock et de West Smithfield sont en briques et à quatre étages; dans l'épaisseur du mur sont placées des briques creuses afin d'assurer la ventilation; on évite ainsi le ressuage des briques, qui rendrait inefficace tout isolement. La face interne du mur est recouverte d'un lambris isolant, ainsi que les plafonds.

Machines. — Les machines sont placées au rez-de-chaussée dans une annexe. Il y a trois systèmes employés : au Victoria Dock, c'est l'appareil Haslam à air sec; au West India Deck la machine à ammoniaque et à West Smithfield celle à l'anhydride carbonique.

Dans le premier appareil le froid s'obtient en refroidissant un volume d'air comprimé, qui se détend ensuite.

Ce système offre deux inconvénients: il faut que la machine productrice soit au même niveau que les chambres de réfrigération, car le gaz s'échaufferait en montant; une grande quantité d'eau est nécessaire. En revanche, il offre plusieurs avantages: l'air sec introduit change celui des chambres; l'eau congelée s'arrête dans les conduits en bois qui servent au transport de l'air et ne pénètre pas dans les pièces.

Il n'en est pas de même avec les autres appareils; mais au lieu de faire circuler les gaz, on pourrait refroidir de l'eau saturée de sel qui a l'avantage de pouvoir monter plusieurs étages. La puissance nécessaire est également moindre.

Quoiqu'il en soit, à Londres on donne la préférence à l'air sec. Au Victoria Dock, l'appareil qui produit 5 000 mètres cubes est actionné

par une machine horizontale dont les cylindres ont 50 et 80 *cm* de diamètre, avec course de 90 *cm*; le diamètre des compresseurs est de 65 *cm*. L'air porté à la pression de 24 kilogrammes par centimètre carré est refroidi par un courant d'eau dans un condenseur. La détente le ramène à la température de — 7°.

Quant aux autres machines, elles sont semblables à celles employées dans les industries comme la brasserie.

Le prix de revient est environ de 25 centimes par 1 000 mètres cubes refroidis de 1°.

CHAPITRE XXX

MACHINERIE DES PORTS

Avantages des machines. — Dans les ports secondaires, les manœuvres sont exécutées à bras d'hommes.

Des cabestans, des treuils, des grues à main sont répandus çà et là sur les quais. La manutention de certaines marchandises, telles que le charbon, y est opérée par des grues fixes à vapeur.

Ces procédés suffisent amplement et il faut se méfier d'un engouement excessif pour les machines perfectionnées. Il est des ports outillés grandement dont les appareils ne servent presque jamais.

Mais pour satisfaire à un grand trafic le développement de l'outillage est indispensable. Un port — on ne saurait trop le redire — est une machine de laquelle il faut exiger le maximum de production, car elle est particulièrement coûteuse. Une même longueur de quai donne un rendement qui varie du simple au triple suivant les engins dont elle est dotée ; un bassin bien outillé fait par suite autant d'opérations que deux ou trois bassins mal équipés, et le capital de premier établissement peut être réduit au tiers par un judicieux emploi des machines.

Les frais journaliers sont diminués dans une proportion plus forte encore, et qui devient énorme pour certaines marchandises. Il serait matériellement impossible de charger à bras à bord d'un navire charbonnier trois cents tonnes à l'heure : les hommes nécessaires ne pourraient même pas approcher des panneaux. Cette production est atteinte et dépassée de beaucoup par les appareils spéciaux, que desservent quelques manœuvres avec une dépense réduite de charbon. Et le navire, chargé en une ou deux journées, économise ses frais quotidiens qui sont considérables.

Un vapeur de commerce coûte plusieurs millions et ses frais at-

teignent 2500 francs par jour. Si entre l'Europe et les États-Unis il fait 12 voyages annuels, il opère 24 fois dans les ports et un seul jour gagné chaque fois grâce à la rapidité des manutentions représente une économie de 60000 francs. Il faut y ajouter le bénéfice d'un voyage en plus.

L'outillage perfectionné a d'abord été employé en Angleterre et longtemps le continent s'est trouvé en retard à ce point. Aujourd'hui tous les grands ports en sont dotés et leur puissance d'action en a été considérablement accrue.

SYSTÈMES DIVERS

Les sources d'énergie auxquelles on a recours pour la mise en œuvre des appareils sont : la vapeur, l'eau sous pression, l'air comprimé et l'électricité. Elles doivent réaliser deux avantages : rapidité, économie.

La rapidité est à peu près la même pour chaque appareil avec les divers systèmes ; une grue, un cabestan ne doivent pas dans la pratique dépasser une certaine vitesse qui peut être atteinte par tous les procédés. Mais il ne s'agit pas seulement des machines séparées, il faut considérer l'ensemble de l'exploitation.

Certaines manœuvres, comme celles des portes d'écluses, des cabestans, des ponts mobiles, des bateaux-portes, sont relativement rares ; elles ne se présentent qu'une fois par jour et même moins. Ou, si elles se renouvellent, elles sont de courte durée. Affecter à chacun de ces engins, s'ils sont éloignés, des chaudières spéciales, des machines coûteuses et encombrantes, les entretenir inutilement sous pression ou y exécuter des allumages répétés et qui occasionnent toujours des pertes de temps, c'est grever l'exploitation de frais inutiles. Il faut chercher, au contraire, à concentrer en un seul point la source d'énergie et à la transporter à pied d'œuvre par des procédés simples et énergiques.

Vapeur. — L'application de la vapeur aux grues, aux cabestans, etc. est trop connue pour qu'il soit besoin d'y insister. Telle qu'elle se pratique en général, elle offre les inconvénients qui viennent d'être signalés. De plus, les organes des machines qu'elle actionne sont délicats et ne peuvent être confiés qu'à des mains expérimentées. Elles sont encom-

brantes et exigent pour les allumages, l'entretien sous pression, une consommation considérable de charbon.

Dans la ville de New-York, on a remédié au principal inconvénient de la vapeur en créant des stations centrales de chaudières, d'où elle est répartie dans la ville par des tuyaux soigneusement isolés. Mais le système, qui a réussi pour un service continu au moins pendant toute la journée, n'est pas applicable avec autant d'avantage à l'exploitation d'un port où des machines éloignées restent parfois longtemps inactives. Les tuyaux qui y conduisent se refroidissent pendant les arrêts, la condensation de la vapeur est considérable. Elle l'est encore au moment de la mise en train; et, malgré toutes les précautions, des gouttelettes d'eau sont entraînées dans les cylindres où leur action nuisible est connue. En fait, les appareils de levage disséminés sur les piers de New-York et qui sont mus par la vapeur ont leurs propres chaudières.

A Hambourg pourtant, où l'eau sous pression a été écartée à cause de la gelée, la vapeur spécialement destinée aux grues a été produite dans une chaufferie centrale d'où elle est répartie aux machines.

Sur le quai Petersen, long de 1 250 mètres, est installé un bâtiment contenant six chaudières de 135 mètres carrés de surface de chauffe, suffisant à l'alimentation des 35 grues et des deux machines de 100 chevaux nécessaires aux dynamos et à la station électrique des quais Petersen et Kirchenpauer. Ces chaudières tubulaires fournissent la vapeur à 13,40 *kg* par centimètre carré, pression qui se réduit à 10,30 *kg* à l'extrémité de la conduite. Des chaudières partent deux conduites longues chacune de 622 mètres et munies de prises tous les 9 mètres. Elles sont supportées à la hauteur des colonnes des hangars et franchissent sur des passerelles les espaces découverts ; le diamètre des tuyaux varie de 100 à 60 millimètres d'une extrémité à l'autre ; ils sont en fer forgé, à brides; des purgeurs sont établis à des distances de 70 mètres.

Les tuyaux sont recouverts d'une couche d'amiante de 10 millimètres d'épaisseur, protégée elle-même par une enveloppe de liège de 40 millimètres. Entre les deux, l'espace est rempli de débris de bouchons et de gypse. Le tout est noyé dans du gypse et enfin dans la laque noire.

La condensation est réduite ainsi à 62 % de la quantité normale.

Par tonne, les grues du quai Petersen économisent 7 centimes sur celles qui ont leur chaudière indépendante.

Il y a donc avantage à concentrer la distribution de l'énergie ; mais la perte par la condensation est encore considérable malgré toutes les précautions, et la conduite éprouve des chocs assez violents à chaque manœuvre, par suite de la présence de l'eau de condensation.

Il faut remarquer d'ailleurs que cette application d'une source centrale de vapeur n'a été faite qu'aux grues qui, de tous les outils des installations maritimes, sont ceux dont l'usage est le plus fréquent, surtout dans un port aussi occupé qu'Hambourg. La condensation y est moins à craindre qu'avec les autres appareils, d'emploi plus rare.

En ces derniers temps, cette installation a été abandonnée et la source d'énergie qui donne le mouvement aux grues est l'électricité.

Eau sous pression. — Une colonne d'eau de hauteur H (en mètres) produit sur chaque centimètre carré de sa base une pression de $\frac{H}{10}$ kilogrammes. Un piston dont le diamètre est de 50 *cm* et la surface 1 960 centimètres carrés reçoit de l'eau provenant d'un réservoir de 60 mètres de hauteur une pression de 11 760 kilogrammes et s'il s'abaissait d'un mètre par seconde, il développerait pendant ce temps une puissance de 150 chevaux.

Tel est le principe de la machinerie hydraulique, qui fut appliquée dans les conditions précédentes à Great Grimsby par Rendel. Dans les localités situées à la base de collines, on pourrait encore utiliser ainsi et souvent avec avantage, de faibles volumes d'eau. Récemment, à Zurich, une installation de ce genre a été exécutée.

Le corps de pompe où se meut le piston peut être à double effet, c'est-à-dire avec introduction successive de l'eau à chacune des extrémités. On peut aussi, si l'usage du récepteur est intermittent, faire arriver sous le piston l'eau qui l'élèverait jusqu'à la fin de sa course ; puis évacuer rapidement le liquide et recommencer.

L'application du système ainsi conçu est très bornée. Lord Armstrong l'a rendue générale par l'invention de l'accumulateur. Une pompe envoie sous le piston plongeur d'un cylindre de grand diamètre de l'eau qui le soulève.

Le piston étant chargé d'un poids considérable, l'eau contenue dans le cylindre est soumise à cette pression et peut être utilisée pour la mise en mouvement des appareils.

Un calcul très simple démontre l'avantage des hautes pressions ; dans

les ports, elle est souvent de 50 kilogrammes par centimètre carré. L'eau qui sort de l'accumulateur s'écoule donc comme sous la charge d'une colonne de 500 mètres de hauteur et chaque litre représente 500 kilogrammètres ou plus de 6 chevaux-vapeur.

Rendement des appareils. — Le rendement des pompes de compression est facile à déterminer. Le robinet de débit de l'accumulateur étant fermé, la hauteur dont le piston s'élève pour un tour de la machine motrice indique le volume emmagasiné, le diamètre intérieur de l'accumulateur étant connu. La comparaison de ce volume avec celui fourni théoriquement par la pompe donne le rendement R.

Ainsi, soient :

S, la section du plongeur de l'accumulateur ;

s, — de la pompe ;

l, la course de la pompe ;

h, l'élévation du piston de l'accumulateur pour un tour, on a :

$$R = \frac{Sh}{sl}$$

Bien entendu, l'élévation est observée pour un certain nombre n de tours, une dizaine par exemple, puis divisée par n.

A Tancarville, le rendement n'a été trouvé que de 0,90 tandis que Barret l'estimait à 0,98 ; il varie entre ces deux chiffres.

En comptant à 0,80 le rendement du moteur à vapeur, le travail emmagasiné dans l'accumulateur sera $0{,}80 \times 0{,}90 = 0{,}72$.

Le chiffre adopté par Barret était de 0,765 ; à Hull il est de 76 %. M. Abernethy l'a trouvé même de 80 %.

Le travail nécessaire à la compression d'un litre d'eau à 50 kilogrammes par centimètre carré est donc $\frac{500}{0{,}72} = 695$ kilogrammètres ou $9\frac{1}{4}$ chevaux.

De nombreuses expériences, Barret a conclu qu'en moyenne les appareils mus par l'eau comprimée n'utilisaient que les 0,44 de l'énergie emmagasinée dans l'accumulateur. En définitive, le travail utile n'est donc que $0{,}44 \times 0{,}72 = 0{,}32$ ou environ le tiers du travail développé sur les pistons du moteur.

Avantages et inconvénients — La perte d'énergie est donc au moins des deux tiers et l'usage de l'eau sous pression serait par consé-

quent onéreux pour un travail continu et concentré. Ce serait interposer entre le moteur et l'appareil réceptionnaire un rouage dispendieux et qui absorberait en pure perte une grande partie de l'énergie.

Il en est autrement si le travail est intermittent et surtout si l'énergie est partagée entre un grand nombre d'appareils. Un seul moteur est nécessaire ; il ne faut donc qu'un mécanicien ; l'approvisionnement d'eau, de combustible, etc., est facile et économique, les frais d'allumage sont réduits, les chances d'incendie sont évitées. Les appareils sont toujours sous pression ; leur direction est facile et n'exige que des manœuvres intelligents.

Il y a encore une autre considération à leur avantage, c'est que l'accumulateur rendant en peu d'instants l'énergie lentement emmagasinée, le moteur peut être d'une force réduite.

Les machines employées dans les ports ne travaillent à leur puissance maxima que pendant un temps limité. Considérons, par exemple, une grue qui doit élever 1 500 kilogrammes à 10 mètres de hauteur avec une vitesse de 80 *cm* par seconde ; l'élévation dure donc 12,5 secondes. Le travail accompli, de 15 000 kilogrammètres, exige une machine à vapeur de 13,33 chevaux-vapeur effectifs, sans compter la perte provenant du fait de la grue.

Trente grues, outillage d'un port de second ordre, demanderaient donc une force totale de 400 chevaux.

L'eau d'un accumulateur sous la pression de 50 kilogrammes par centimètre carré représente 500 kilogrammètres par litre.

Les 15 000 kilogrammètres développés par l'élévation de la charge précédente nécessitent donc l'emploi de $\frac{15\,000}{500} = 30$ litres seulement.

L'expérience démontre que la rotation de la grue et les pertes consomment encore 20 autres litres, en tout 50 litres pour une opération totale qui dure deux minutes (levage, rotation, déchargement et renvoi de la chaîne).

Par seconde, la dépense est par suite :

$$\frac{50}{120} = 0,416\ l$$

Ce volume d'eau sous pression représente $0,416 \times 500 = 208$ kilogrammètres qui doivent être rendus à l'accumulateur en une seconde.

Le rendement de l'accumulateur étant de 0,72, le moteur a à développer par seconde :

$$\frac{208}{0,72} = 289 \; kgm \text{ ou } 3,85 \text{ chevaux-vapeur.}$$

Ainsi, à cause de l'intermittence, une machine de quatre chevaux-vapeur suffira au service de la grue et l'outillage complet des trente appareils sera actionné par $4 \times 30 = 120$ chevaux environ, soit une différence de $400 - 120 = 280$ chevaux.

Cette économie, il faut bien le remarquer, porte surtout sur le prix de l'installation première. Pendant les arrêts, la consommation de charbon des grues à vapeur est suspendue ou diminuée, tandis que celle du moteur de la machinerie hydraulique ne varie pas. Il faut donc calculer à part chacune des dépenses afférentes.

La place exigée par les appareils hydrauliques et leurs poids étant moindres, leur déplacement est plus facile.

Les inconvénients du système sont d'abord la perte considérable d'énergie, perte qui ne se compense que par l'intermittence et le nombre des appareils, et surtout la dépense très forte de tuyautage si les appareils sont trop éloignés. Les appareils accomplissent toujours la totalité de leur course et la perte d'eau est en conséquence toujours la même quelle que soit l'importance du fardeau. On a remédié en partie à cet inconvénient en construisant des appareils à *double* ou à *triple pouvoir.*

Enfin, dans les pays septentrionaux, l'eau gèle assez fréquemment dans les tuyaux pour paralyser les machines. Il est possible de remédier à cet inconvénient en ajoutant à l'eau du chlorure de magnésium ou de la glycérine ; mais ces matières sont d'un prix élevé et il se produit dès pertes par les fuites. En tout cas, une conduite de retour est alors indispensable pour l'emploi du même liquide.

On préfère en général enterrer les conduites assez profondément et même disposer quelques foyers qui réchauffent l'eau durant les jours trop froids. L'usage fréquent des appareils, même à vide, empêche aussi la congélation.

A Brême, les conduites, placées dans un tunnel qui longe le quai, sont alimentées pendant l'hiver par l'eau chaude provenant des condenseurs des machines ; la température reste ainsi presque uniforme dans le tunnel.

Des résultats comparatifs obtenus à Calcutta ont montré que l'emploi des grues hydrauliques est trois fois et demie moins coûteux que celui des mêmes appareils à vapeur. Une telle disproportion ne peut provenir que de conditions locales.

Air comprimé. — A l'arsenal de Portsmouth, les appareils sont mus concurremment par la vapeur, l'eau sous pression et l'air comprimé. La vapeur n'est utilisée que pour les grues et bigues puissantes, dont l'emploi est rare.

L'eau sous pression était déjà en usage à l'arsenal quand ont été construits les nouveaux bassins : il s'y trouvait trois groupes de pompes donnant l'eau à trois kilomètres de tuyaux, non compris quelques petites installations spéciales.

Avant de doter d'un outillage les machines nouvelles, des expériences comparatives furent exécutées entre l'eau sous pression et l'air comprimé et se terminèrent à l'avantage du dernier.

D'après l'ingénieur en chef, pour des appareils fonctionnant avec un certain degré de régularité, peut-être le système hydraulique serait-il plus économique; mais pour le genre de travail d'un arsenal, où de nombreuses machines sont répandues à des distances considérables, présentant des variations excessives dans la demande d'énergie, l'air comprimé reprend l'avantage.

A Portsmouth, les réservoirs ont une capacité suffisante pour alimenter pendant deux heures la moitié des appareils; aussi les compresseurs peuvent-ils travailler avec régularité et être arrêtés en cas de besoin; il est inutile de les faire marcher à toute vitesse; il en résulte une économie de charbon.

Les expériences ont donné comme dépense comparée des deux systèmes le rapport $\frac{11}{13}$, 11 étant la proportion de l'air comprimé. Il a été constaté également que l'usure des appareils était moindre avec le dernier.

L'installation comprend deux systèmes différents : l'un comptant 90 et l'autre 200 chevaux. L'air est emmagasiné dans huit récepteurs de 3 mètres de diamètre et 9 mètres de hauteur, construits en tôle de 15 *mm* d'épaisseur et dont la contenance totale est de 500 mètres cubes; la pression y est de 4,25 *kg* par centimètre carré.

Les tuyaux de distribution ont une longueur de 4 200 mètres, le dia-

mètre variant de 75 à 300 *mm*; ils donnent l'air à quarante cabestans de sept tonnes, cinq grues de vingt tonnes, à la machinerie de sept caissons-portes et à une foule de petites machines. L'air est facilement transporté par des tuyaux mobiles à bord des navires en réparation, pour donner le mouvement aux outils.

La température de l'air dans les réservoirs est de 41°. La pression tombe au maximum de 1,70 *kg* au moment des plus grandes demandes d'énergie.

Les machines des compresseurs remplissent quatre réservoirs en une demi-heure en développant 122 1/2 chevaux. Les pompes à air n'utilisent que 80 °/₀ de cette puissance, proportion qui est réduite à 71 °/₀ par le frottement dans les tuyaux qui conduisent l'air aux récepteurs.

Le service par l'air comprimé a l'avantage d'être à l'abri du froid, tandis qu'à Portsmouth même les fortes gelées arrêtent parfois le fonctionnement des appareils hydrauliques. Le diamètre des tuyaux est malheureusement assez fort, pour éviter le laminage de l'air comprimé.

Cet exemple n'a été imité nulle part dans les ports, bien que l'air comprimé ait reçu par ailleurs des applications si étendues.

Électricité. — La transmission de force par l'électricité a également été appliquée à l'outillage des ports de mer.

Des essais de grues électriques ont été exécutés par la Chambre de commerce du Havre et nous donnons ici les conclusions de son ingénieur.

Des divers essais faits sur l'application de l'électricité aux engins de levage et jusqu'à ce qu'une longue pratique ait fait ressortir définitivement les avantages et les inconvénients de son emploi journalier, il résulte que:

Le fonctionnement de l'appareil en lui-même n'est pas modifié sensiblement;

Les frais d'exploitation sont plutôt moindres, si le nombre total d'engins est important;

Les sujétions et les dangers des chaudières isolées sont évités :

De même des dangers de gelée;

Les engins sont plus faciles à déplacer;

Le temps perdu en allumages est supprimé.

Pour le moteur, la dynamo doit avoir son inducteur monté en série et son rhéostat muni d'un commutateur permettant de fermer le courant après chaque opération, et de faire varier la vitesse à volonté.

Depuis ces premières expériences, les résultats ont été plus avantageux au Havre et de nouvelles grues électriques ont été installées.

Des grues électriques sont établies et donnent satisfaction dans divers ports du nord. Seule, la maison Nagel et Kaemp (Eisenwick) de Hambourg en a installé six à Hambourg, sept à Copenhague et neuf à Rotterdam.

Il est plus que probable que l'emploi de l'électricité deviendra général dans un avenir très prochain.

Les expériences auxquelles elles ont donné lieu ont établi que les machines en série, bien qu'inférieures au point de vue du rendement, sont seules assez souples pour être employées dans l'outillage des ports. Il est utile de faire travailler un instant la grue à vide avant d'embrayer le mouvement de levage.

La dynamo actuellement employée au Havre tourne à 320 tours par minute. Elle est montée sur la partie tournante de la grue. Le courant pénètre dans le pivot fixe par deux conducteurs isolés; deux collecteurs fixés à la partie supérieure de ce pivot transmettent le courant à des frotteurs montés sur la guérite tournante; de là le fluide passe dans un rhéostat, puis dans l'inducteur et l'induit.

Par heure, quarante bennes de 1500 kilogrammes sont levées à neuf mètres; tous les mouvements s'obtiennent par une dépense de 700 hectowatts-heure; mais comme en service courant, les bennes sont moins chargées et que la hauteur d'élévation est variable, la consommation n'atteint réellement que 580 hectowatts-heure.

La dépense d'énergie est à peu près proportionnelle au fardeau, quelle que soit la vitesse. Aussi dans le cas d'une résistance trop considérable, la puissance peut augmenter jusqu'à devenir dangereuse; on doit interposer un limiteur de force pour un maximum de 1800 kilogrammes. Au delà les surfaces flottantes de ce limiteur patinent.

En résumé, les grues électriques sont préférables à celles à vapeur, mais la rusticité des appareils hydrauliques semble devoir leur donner la supériorité. C'est ce qui explique la multiplication des engins électriques dans les ports du nord, où la gelée interrompt parfois le fonctionnement de l'eau sous pression.

Obstacles à l'outillage perfectionné. — L'emploi de l'outillage perfectionné se heurte souvent à des obstacles inattendus. Les exigences des bateliers, des portefaix, ont parfois (Gênes, Anvers) em-

pêché l'usage des engins mécaniques. Pourtant l'âpreté de la concurrence a rendu depuis quelques années plus indispensable et par suite plus accepté cet emploi.

Fig. 223. — Bassin-Bellot. — Accumulateur. Caisse de charge.

Néanmoins, les habitudes commerciales laissent encore beaucoup à désirer sur ce point. Un navire a d'ordinaire droit, d'après sa charte-partie, à un certain nombre de *jours de planche* pour mettre à terre sa cargaison ; beaucoup de navires sont affrétés *à ordre*, c'est-à-dire

pour tout port compris dans une certaine région à l'option du destinataire et qui n'est connu qu'à l'arrivée en Europe, à Cadix, à Belle-Ile, par exemple, où les capitaines vont atterrir et chercher les ordres transmis par le télégraphe. Dans ce cas, le nombre des jours de planche est calculé pour le port le moins bien outillé de la région convenue. Le réceptionnaire a intérêt, quand même il pourrait aller plus vite, à laisser sa marchandise dans le navire où il n'a pas de magasinage à payer.

Les navires à départs réguliers sont dans le même cas.

Bien d'autres raisons interviennent encore : la nécessité de trier les marchandises, de les reconnaître sur le pont, le besoin d'employer des hommes inoccupés, etc. Tous les ports n'ayant pas un bon outillage, les navires sont obligés d'avoir des moyens propres de débarquement et alors ils les utilisent même dans les bassins bien pourvus, à moins de nécessité de réparations.

A Hambourg, on a adopté une combinaison mixte qui est rapide : les marins mettent eux-mêmes la marchandise sur leur pont, d'ou l'enlèvent les grues du port. Dans quelques bassins, l'usage des appareils de manutention est imposé.

En Angleterre, cette obligation existe aussi dans certains ports. Comme ceux-ci appartiennent, en général, à des compagnies privées, elles n'accordent que des délais très courts pour le déchargement, d'où résulte l'emploi forcé des appareils.

L'outillage hydraulique est installé en France à Dunkerque, Calais, Le Havre, Rouen, Marseille ; à l'étranger il est très répandu.

MACHINERIE HYDRAULIQUE

Accumulateur (fig. 225). — L'accumulateur n'est qu'une presse hydraulique à piston plongeur chargé d'un poids considérable. Ce poids est parfois contenu dans une caisse métallique guidée par deux montants, d'autres fois il se compose d'anneaux de fonte entassés autour d'une tige.

S étant la section droite et h la course du piston, P la charge, p la pression par unité de surface

$$p = \frac{P}{S}.$$

et le travail développé pour l'élévation totale du piston est Ph.

L'expression précédente montre que p varie en raison inverse de S; il y a donc intérêt, pour augmenter la pression, à diminuer le diamètre du piston, mais la solidité exige un minimum.

Accumulateur différentiel. — La difficulté est résolue par l'emploi de l'accumulateur différentiel. Le piston est fixé au sol et c'est le cylindre qui est mobile et porte la charge. Son mouvement est guidé à la fois par le plongeur et par une tige qui prolonge celui-ci et glisse dans un presse-étoupe disposé sur le fond du cylindre.

Le piston est creux; l'eau pénètre dans le vide à la base par un petit tuyau et en sort par un orifice pratiqué au sommet. Elle se répand dans le cylindre et l'élève en s'appuyant sur l'anneau qui représente la différence de section entre la surface supérieure du plongeur et de la tige-guide.

Soient d, d' les diamètres du piston et de la tige, la surface de l'anneau est $\pi\,(d^2 - d'^2)$ et la charge p devient

$$p = \frac{P}{\pi\,(d^2 - d'^2)}$$

Le dénominateur est diminué à volonté et la pression p est obtenue au moyen d'une charge P réduite.

Mais quelque avantageux que paraisse cette solution, elle n'est guère adoptée en pratique; il en est de même des accumulateurs à pouvoirs multiples.

Capacité. — La capacité de l'accumulateur est déterminée par la quantité d'eau qui doit être fournie aux appareils en marche simultanée. Des nombres sont donnés, à cet effet, plus loin. La capacité dépend du diamètre et de la course du plongeur; le premier ne diffère guère, en général, de 50 centimètres; on en conclut la course. Comme exemples on peut citer :

Accumulateur d'Anvers, rempli par une machine à vapeur de 150 chevaux. Piston : 508 *mm* de diamètre; course : 7,167 *m*. Contenance : 1 460 litres. Pression : 49,19 *kg*. Énergie disponible : 718 174 kilogrammètres.

Accumulateurs du bassin Bellot et des bassins d'aval du canal de Tancarville, au nombre de deux. Machines à vapeur de 154 chevaux : Diamètre du plongeur : 430 *mm*; course : 5,20 *m*. Capacité : 754 litres.

Pression : 54 kilogrammètres. Energie disponible : 407 000 kilogrammètres dans chacun des accumulateurs.

Accumulateurs des ouvrages d'amont à Tancarville. Deux accumulateurs : Diamètre du plongeur : 350 *mm*. Course 5,50 *m*. Capacité : 530 litres. Pression : 54 kilogrammètres. Énergie disponible dans chacun des cylindres : 286 000 kilogrammètres.

Le diamètre du cylindre dépasse d'ordinaire de 20 *mm* celui du plongeur.

Epaisseur. — L'épaisseur e des parois du cylindre est donnée par la formule de Lamé :

$$e = \frac{D}{2}\left[\sqrt{\frac{R+p}{R-p}} - 1\right]$$

dans laquelle e et D le diamètre du cylindre sont exprimés en mètres. R est le coefficient de résistance de la fonte par centimètre carré, il peut être pris égal à 200 ; p est la pression en kilogrammes par centimètre carré. Pour $p = 50$, la formule donne

$$e = 0{,}15\,D$$

L'accumulateur est très pesant par lui-même et supporte une charge considérable, qui est de 100 tonnes (98,17 *t*) pour une pression de 50 kilogrammes et un diamètre de 50 centimètres. Il lui faut donc des fondations très solides.

Orifice d'évacuation. — La surface de l'orifice d'évacuation est en général le quarantième de celle du plongeur. Ainsi à Anvers, on a :

Diamètre du plongeur.		508 *mm*
Section		2026 $\overline{cm}^2$
» de l'orifice d'évacuation . . .	$\frac{2000}{40} =$	50 $\overline{cm}^2$
Diamètre » » . . .		80 *mm*

Alimentation. — L'accumulateur est alimenté par une machine qui marche continuellement jusqu'à ce qu'il soit rempli. A ce moment un déclanchement automatique ferme la soupape d'admission de la vapeur et la machine s'arrête. Elle se remet en mouvement dès qu'une manœuvre dépense de l'eau.

Cet effet est produit par un taquet placé latéralement sur la tête du piston ; arrivé au sommet de la course, le taquet soulève un poids sus-

pendu à une chaîne qui passe sur une poulie de renvoi. L'autre extrémité de la chaîne est fixée au levier de manœuvre de la soupape d'admission. Ce levier retombe et ferme la soupape. Aussitôt que le plongeur redescend, le poids soulève de nouveau le levier et la valve s'ouvre.

Pompes de compression. — Les pompes de compression sont calculées pour rendre à l'accumulateur le volume qui peut être dépensé en cas d'opérations simultanées des appareils. Elles sont à double effet. Elles produisent un volume constant dans les deux sens par

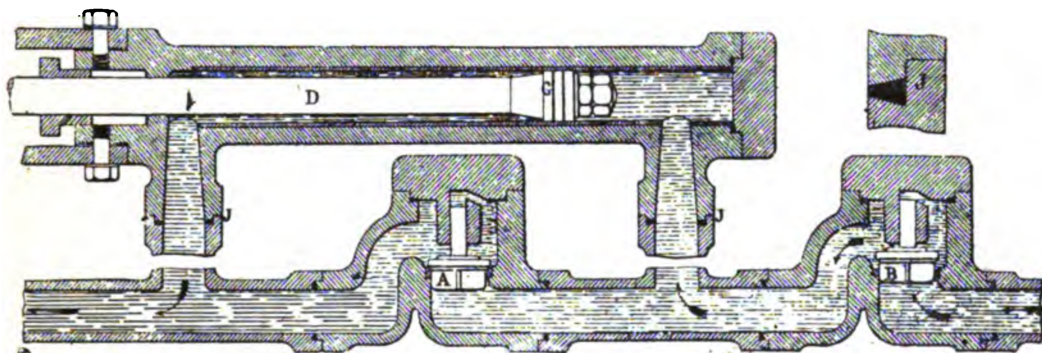


Fig. 226.

l'emploi du piston différentiel (fig. 226) qui compense le volume occupé par la tige E du piston F. A cet effet, la section de la première est faite égale à la moitié de celle du piston. Il est facile de voir que dans la marche de F vers E, seule l'eau qui se trouve autour de la tige est refoulée dans l'accumulateur placé à l'extrémité du tuyau vers la gauche. Dans la marche en sens contraire, l'eau contenue entre les soupapes D et G est chassée à travers l'orifice D; mais elle se partage en deux parties égales : l'une va remplir le vide autour de E, l'autre se rend à l'accumulateur. Le volume envoyé au cylindre est donc constant.

Les pompes sont d'ordinaire à plongeur, articulées et attelées à trois sur un même arbre tri-coudé à 120°. Au bassin Bellot, les plongeurs ont 50 *mm* de diamètre et 150 *mm* de course; avec 30 tours de l'arbre par minute, le débit est de 26,5 *l* durant ce temps. Il y a une batterie semblable pour chaque accumulateur.

Dans cette installation, on a admis que l'ensemble de la pompe et de la machine donnait un rendement de 50 °/₀. La force devait donc être

de $\frac{26,5 \times 2}{60} \times 540 = 477$ *kgm* = 6,36 chevaux-vapeur pour chacun des accumulateurs. Aussi à la grande machine à vapeur de 154 chevaux, et pour parer aux éventualités, a t-on ajouté un petit moteur spécial aux accumulateurs et de 15 chevaux de puissance maxima.

L'installation complète comprend :

Machine principale : Piston du petit cylindre : 550 *mm* de diamètre, course de 1,10 *m*, vapeur à 5 kilogrammes. Piston du grand cylindre : 1100 *mm* de diamètre, même course. Condenseur à surface; pompes conduites par un moteur spécial de 9 chevaux.

Les pompes de compression sont placées en prolongement des tiges des pistons, entre les branches des bielles en fourchettes. Pompes différentielles ; diamètre du piston 134 *mm*, des tiges 95 *mm*, d'où résultent des sections dans le rapport de 2 à 1.

Quatre générateurs ayant chacun 1,50 m^2 de surface de grille et 47,20 m^2 de surface de chauffe.

Conduites. — L'eau sous pression est distribuée aux appareils par des tuyaux en fonte dont l'épaisseur est calculée par la formule de Lamé donnée ci-dessus, et dont la longueur est de 2 à 3 mètres.

L'assemblage se fait par des brides ovales dont l'une porte un emboîtement circulaire et l'autre une saillie qui s'engage dans cet emboîtement, une rondelle de caoutchouc ou de gutta-percha est interposée dans l'emboîtement.

Dans la distribution d'eau sous pression à Londres, il a été reconnu que les fractures avaient lieu surtout aux brides; une forme spéciale a augmenté de 35 % leur solidité.

On place de distance en distance des tuyaux télescopiques compensateurs formés de deux tubes tournés pouvant glisser l'un dans l'autre entre des presse-étoupes. Cette disposition a un double but : Prévoir la dilatation et compenser les erreurs de longueur des tuyaux.

Des soupapes d'arrêt sont placées le long des conduites tous les cent mètres par exemple, pour isoler les sections en cas d'accident. Des tubulures servent de prises aux appareils. Sur la conduite qui longe les quais, ces tubulures seront réparties de 10 en 10 mètres; les grues mobiles s'y rattacheront par des tuyaux télescopiques glissant à frottement doux dans un manchon d'emboîtement comme les diverses parties d'une longue-vue.

Diamètre. — Le diamètre de la conduite d'eau se calcule en admet-

tant une vitesse maxima d'un mètre par seconde et comme débit la consommation du nombre d'appareils supposés devoir servir simultanément. En principe, le diamètre devrait diminuer après la prise de chacun des appareils desservis ; mais en réalité, à cause des dimensions commerciales des tuyaux, les changements ne s'opèrent qu'après le service de plusieurs machines. Les diamètres varient de 20 à 7 *cm*, les derniers étant réservés à l'alimentation des appareils isolés.

Les pertes de charge sont considérables. Voici comment elles ont été appréciées au Havre par M. Widmer.

La dernière machine, un cabestan, a été alimentée par un tuyau de 75 *mm* de diamètre. Ce cabestan consommant 2,92 *l* par seconde, la vitesse V de l'eau y est de 66 *cm*. La perte de charge dans une conduite ordinaire de diamètre D serait donnée par la formule de Prony :

$$p = \frac{4}{D}(0,0000173\, v + 0,000348\, v^2).$$

La longueur de la conduite qui ne dessert que ce cabestan étant L, la perte totale est

$$pL$$

On remontera ainsi de sections en sections et l'on aura la perte de charge totale, égale à la somme des pertes particulières à chacune. D'après Barret, pour l'eau sous pression, il faut tripler les résultats obtenus par la formule de Prony. De plus, chaque appareil éprouve dans ces organes une perte qui, pour un cabestan, est égale à 12 mètres. La perte au bout de la conduite sera donc

$$3\,(\Sigma pl + 12)\, m$$

Le dixième de cette valeur représente la perte de pression en kilogrammes par centimètre carré. Dans l'espèce, elle était de 2,3 *kg*.

Voici le résultat d'expériences sur la conduite d'eau sous pression des docks de Marseille :

Sur 1357 mètres de tuyaux de 127 *mm* de diamètre, avec 48 courbes en quart de cercle et vitesse d'écoulement de 2,30 *m* par seconde, la perte de charge totale était de 33,5 *kg* sur les 53 kilogrammes de l'accumulateur, soit 0,0228 *kg* par mètre courant.

2° Sur la même canalisation, avec 320 mètres de longueur en ligne droite, même pression et même vitesse, la perte a été de 5 kilogrammes,

soit 0,0140 *kg* par mètre. Donc, dans la conduite sans coudes, la perte de charge n'est que les $\frac{62}{100}$ de la première.

Ces expériences ont montré que la meilleure vitesse d'écoulement est de 18 à 20 *cm* par seconde. On arriverait ainsi, il est vrai, à des diamètres exagérés si l'on n'avait soin de répartir sur le parcours des accumulateurs secondaires dont le contenu alimenterait la conduite au moment du plus fort débit. En pratique, on admet, comme il a été dit ci-dessus, des vitesses beaucoup plus considérables.

A Hull, dans un tuyau de 150 *mm* la perte totale de charge a été trouvée de 2,25 *kg* sur 1 370 mètres de longueur ; la pression initiale étant de 48 kilogrammes par centimètre carré, et le débit de 10 litres par seconde ; par mètre la perte était donc de 0,0016 *kg*. Elle devenait quatre fois plus forte ou 0,0064 *kg* pour un débit double. Or, dans le premier cas, la vitesse était de 57 *cm* et de 1,14 *m* dans le second.

M. le professeur R. H. Smith a donné les formules suivantes pour le calcul du diamètre de la conduite d'eau sous pression.

Soient

V le volume écoulé par seconde,

L la longueur de la conduite,

D son diamètre,

HP l'énergie développée par le volume débité en chevaux-vapeur, au point considéré

p la pression en kilogrammes par centimètre carré.

La perte de charge est exprimée par

$$\beta = \frac{6,64}{10^7} \frac{V^2 L}{D^5}$$

et

$$D = 0,21 \sqrt[5]{\frac{L \, \overline{HP}^2}{\beta p^2}}$$

Sauf p, toutes les mesures sont en mètres.

On voit qu'il y a, pour trouver D, à opérer par approximation en partant d'un diamètre trop faible, mais approché.

Les mêmes formules donnent les divers diamètres à appliquer pour les longueurs successives de la conduite, après avoir desservi les appareils en route. On prend les valeurs des lettres au point considéré, c'est-à-dire que L devient la longueur de la conduite à desservir, V le

volume d'eau qui reste, HP le nombre de chevaux qui ont atteint le point, etc.

Joints. — La figure 227 indique le joint adopté pour les conduites d'eau sous pression.

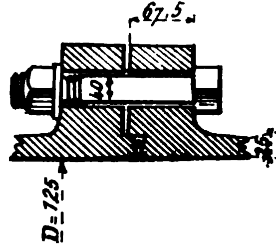


Fig. 227.
Joint Armstrong.

Appareils de sûreté. — Entre l'accumulateur et la conduite générale sont placés deux appareils de sûreté, une soupape d'arrêt et un trop-plein.

Voici le dispositif de cet appareil de sûreté :

Au pied du cylindre, sur le tuyau qui le relie à la conduite générale, est disposée une soupape qui se ferme automatiquement si la pression manque dans la canalisation par suite de la rupture d'un tuyau ; en se fermant, elle empêche la chute de la caisse de charge.

La soupape est placée dans une boite sur la conduite ; elle est munie de deux guides, dont le supérieur s'articule avec un levier chargé d'un poids auquel est aussi articulée la tête d'un piston dont l'extrémité pénètre dans la soupape, du côté de la conduite générale.

Soient :

d, d', d'', d''', les diamètres de la soupape, des guides inférieur et supérieur et enfin du piston.

L, L' et L'' les distances au point d'articulation du levier, du centre du poids et des points d'articulation de la soupape et du piston.

P la pression par centimètre carré dans la conduite générale et P' la pression du côté de l'accumulateur.

Le levier est soulevé par un effort F tel que

$$F = P\left(\frac{\pi d^2}{4} + \frac{\pi d'''^2}{4} - \frac{\pi d'^2}{4}\right) \frac{P\pi}{4}(d^2 + d'''^2 - d'^2)$$

L'effort F qui tend à l'abaisser a pour mesure

$$F' = P'\left(\frac{\pi d^2}{4} - \frac{\pi d''^2}{4}\right) + \frac{RL}{L'} + \frac{RL}{L''}$$

ou

$$F' = \frac{P'\pi}{4}\left(d^2 - d''^2\right) + RL\left(\frac{1}{L'} + \frac{1}{L''}\right)$$

A Tancarville on a en prenant les diamètres en centimètres et les longueurs en mètres :

$d = 10,3$ $\quad d' = 2,5$ $\quad d'' = 5$ $\quad d''' = 4$
$L = 0,440$ $\quad L' = 0,225$ $\quad L''' = 0,085$
$k = 30$ kg

On a alors :

$$F = 91\ P \qquad F' = 63,6\ P - 16$$

Si F' devient plus grand que F, le levier s'abaisse et la soupape se ferme.

Quant à la soupape de trop-plein, elle est disposée de façon à être ouverte par une tringle quand l'accumulateur arrive au haut de sa course ; elle est en communication avec la conduite générale et avec un réservoir placé en haut de la tour de l'accumulateur où se rend l'eau pompée en excès.

Mise en marche automatique. — Avec le dispositif précédent, il est possible également d'obtenir l'arrêt des machines, par un levier, au moment même de l'ouverture de la soupape de trop plein. Elles repartent dès que la soupape se ferme. Il est bon d'ouvrir et de fermer lentement la valve, pour uniformiser les mouvements.

La mise en marche automatique est due à un petit tiroir actionné par un excentrique spécial (Barret) et disposé, ainsi que les tuyaux d'arrivée, de façon à introduire dans les cylindres la vapeur en pleine pression.

Une soupape équilibrée empêche l'accès de la vapeur dans ce tiroir en marche normale Mais si la machine se ralentit ou si la valve de trop plein l'arrête, le régulateur à force centrifuge en tombant lève la soupape équilibrée. La vapeur pénètre alors dans le cylindre par le tiroir annexe. Comme chacun des cylindres est ainsi disposé, il n'existe pas de point mort.

Conduite de retour. — On installe une conduite de retour dans les ports où l'eau coûte assez cher pour qu'on ait intérêt à ne pas la renouveler (Le Havre).

Il faut remarquer que par grue et par jour, à 30 opérations à l'heure et en 10 heures, la consommation est de 15 mètres cubes.

La même solution a été adoptée à Cherbourg où l'eau contient du sable qui nuit à la conservation des appareils, et où l'on filtre celle qui est en service. Il semble qu'en pareil cas une filtration grossière suffirait et qu'on pourrait éviter la conduite de retour, qui multiplie les chances de fuite et occasionne une dépense considérable.

Les diamètres des tuyaux de retour sont un peu plus forts que ceux d'amenée. Ils se correspondent dans les proportions suivantes :

Conduite d'amenée . . .	125	100	75 *mm*
Conduite de retour . . .	150	120	90

Accumulateurs secondaires. — Les appareils hydrauliques peuvent être répartis sur une longueur de plusieurs kilomètres ; mais si un grand nombre d'entre eux sont en mouvement en même temps, les pertes de charge sont prononcées. Il y a avantage dans ce cas à couper la conduite par des accumulateurs secondaires, chargés par l'eau venant du premier. C'est la réserve de ces accumulateurs qui alimente les appareils, et ils se remplissent à nouveau dans les moments d'arrêt.

Il est bon de les charger un peu moins que les premiers, pour qu'ils restent à bout de course tant qu'il n'y a qu'un petit nombre d'engins en service ; ainsi au lieu de 50 kilogrammes par centimètre carré, ils n'en supporteront que 40, par exemple.

Consommation d'eau. — *Grues.* — On a vu ci-dessus que la consommation d'eau moyenne d'une grue de 1 500 kilogrammes est par seconde de 0,416 *l* pour toute l'opération ; mais pendant l'élévation, 30 litres sont dépensés en 12,5 secondes, soit 2,40 *l* par seconde. C'est évidemment ce chiffre qu'il faut considérer pour le débit des tuyaux de conduite. Il est certain qu'il peut arriver que toutes les grues d'un réseau travaillent en même temps à l'élévation, mais comme le rapport de la durée de l'élévation au temps complet d'une opération est $\frac{12,5}{120} = \frac{1}{9}$, cette éventualité est peu probable.

Selon Barret les grues du type considéré, d'après les observations dans divers ports, ne font chacune en moyenne qu'un mouvement de 35 000 tonnes par an. Au bassin Bellot, on a prévu que les 28 grues travailleraient en moyenne 200 jours par an et débarqueraient au maximum 160 tonnes par jour, soit 32 000 tonnes dans l'année. Il est vrai que 20 d'entre elles ont un pouvoir de 750 à 1 250 kilogrammes seulement.

Quoiqu'il en soit, 35 000 tonnes réparties sur 3 000 heures de travail ne donnent que 12 opérations, avec la charge nette d'une tonne, par heure, au lieu de 30 qui ont été comptées ci-dessus.

De ces diverses considérations il résulte qu'il suffit de compter un litre par seconde et par grue comme débit maximum de la conduite d'alimentation.

Consommation de charbon. — La consommation de charbon par mètre cube d'eau comprimée est en moyenne de 7 à 8 kilogrammes; mais à cause de la discontinuité des opérations, la dépense est en réalité cinq à six fois plus considérable.

Grues de magasins. — Bien entendu, la consommation d'eau varie avec le genre et la force des grues considérées. On peut admettre qu'elle est proportionnelle à la charge à élever. La hauteur d'élévation est également un facteur de la dépense; il est facile d'en tenir compte d'après le calcul précédemment indiqué. Au magasin à blé de Saint-Mary Overy's Wharf à Londres, une grue fixée à l'étage supérieur à 24 mètres de hauteur et élevant 1 500 kilogrammes, dépense pour une opération totale 112 litres; l'opération dure 2 minutes et demie, y compris le temps du remplissage du godet Priestmann qui élève le grain. Le travail d'élévation seul ne comporte que 45 litres.

Cabestans. — Ceux de Tancarville ont deux pouvoirs : 1200 kilogrammes à la vitesse d'un mètre par seconde et 2400 kilogrammes avec 50 *cm*. Le travail est donc dans les deux cas de 1200 kilogrammètres, représentés par $\frac{1200}{500 \times 0,40} = 6$ litres; 0,40 étant le rendement des cabestans. A Tancarville, la consommation réelle est de 4,85 *l*. Au Havre, la puissance des cabestans varie de 2 à 5 tonnes avec vitesses de 20 et 50 *cm*. Travail 2500 kilogrammètres. La consommation d'eau est indiquée de 3,75 *l* par seconde.

Ascenseurs. — Les entrepôts sont desservis par des ascenseurs de 1 250 kilogrammes dont la hauteur moyenne d'élévation peut être estimée à 10 mètres, avec une vitesse d'un mètre. Le travail de 12500 kilogrammètres sera effectué en 10 secondes. Le rendement étant de 0,75, la quantité d'eau sera donc

$$\frac{1250}{500 \times 0,75} = 3,33\,l$$

Vannes. — Les vannes qui, à Tancarville et au Havre, ferment les aqueducs cylindriques de 2 mètres de diamètre sont identiques. Les

chiffres de consommation des appareils hydrauliques de manœuvre sont indiqués comme très différents. Pour l'ouverture 18 et 63 litres, pour la fermeture 8 et 40, les premiers nombres étant ceux du Havre. Il est prudent d'accepter les chiffres les plus forts. A Tancarville, l'effort au soulèvement est compté de 15 700 kilogrammes, qui exigent déjà 32 litres.

Vannes de la prise d'eau du bassin Bellot. — 15 litres pour les quatre vannes.

Portes d'écluses. — Ecluse Bellot de 30 mètres de largeur. Les vantaux pèsent 155 tonnes chacun. L'ouverture exige un effort de 8 000 kilogrammes et dépense 308 litres ; les nombres respectifs sont 4 500 kilogrammes et 185 litres pour la fermeture.

Bassin de Penhouet	Temps de manœuvre	Dépense d'eau
Machinerie générale	5 min. pour monter par accumulateur	650 *l*
Manœuvre du vantail ou porte .	2	160
Manœuvre de vanne d'aqueduc .	2	50
Cabestan.	6 tours par minute	200
Pont roulant	3 minutes	1000
Vannage de la prise d'eau . .	2	250

Ecluse de Tancarville à simple vantail, largeur : 16 mètres.

	Ouverture	Fermeture
Portes de flot	475 *l*	403 *l*
Porte d'ebbe.	421	296

Ponts tournants. — Tancarville : 16 mètres de portée, 87 tonnes, Soulèvement : 30 litres. Rotation 62,4 *l*.

Pont Bellot : 30 mètres de portée, 400 tonnes.

Soulèvement : 462 litres. Descente : 378 litres. Rotation : 150 litres avec le simple pouvoir, 292 avec la force maxima. L'ouverture se fait en deux minutes.

Pont du Pollet, Dieppe : portée 40 mètres ; poids 500 tonnes.

Ouverture ou fermeture : 521 litres avec le simple pouvoir, 876 avec le double.

Installation générale. — Le devis suivant, dressé par Barret pour le port de Trieste, donne l'idée d'un ensemble d'outillage. La quantité de marchandises, tant à l'importation qu'à l'exportation,

étant estimée devoir s'élever à 1 350 000 tonnes, et la production d'une grue étant comptée à 35 000 tonnes par an, le nombre nécessaire de ces engins est de $\frac{1\,380\,000}{35\,000} = 40$. L'ensemble de la machinerie devrait comprendre :

32 grues mobiles de 1 250 kilogrammes de puissance.

8 — 1 250 à 3 000 kilogrammes de puissance.

40 ascenseurs de 1 250 kilogrammes et 10 mètres de course (pour les étages).

8 ascenseurs de 1 250 kilogrammes et 2,95 *m* de course (pour les caves).

4 cabestans de 750 kilogrammes de puissance.

4 treuils mobiles jiggers.

1 Bigue de 120 tonnes de puissance.

La force nécessaire est de 150 chevaux ; elle est estimée en ne tenant compte que des grues à 3 chevaux l'une (120 chevaux) et des ascenseurs de 1 250 kilogrammes employant chacun $\frac{3}{4}$ de cheval. Les autres appareils, d'usage plus rare, emprunteront la puissance du moteur dans les intervalles. Pour éviter les chomages, il était prévu deux machines de 150 chevaux, mais mieux valent 3 de 75 dont l'une servant comme en-cas. La dépense première eût été diminuée d'un quart, et la machine en repos aurait été de moitié plus faible.

A chaque machine correspond un accumulateur de 725 litres et de 5 mètres de course.

La conduite d'eau de 5 600 mètres de longueur, avec 36 soupapes d'arrêt, comprenait des tuyaux de 125, 100 et 75 *mm*. Celle de retour des tuyaux de 150, 120 et 75 *mm*.

Une machine de 20 chevaux pour les travaux exceptionnels de nuit, le bâtiment des machines, les voies des grues, l'atelier de réparations, portaient le devis total à la somme de deux millions et demi de francs.

Machinerie des docks Tilbury. — En outre des cabestans, il y a sur les quais 56 grues mobiles de 1 500 kilogrammes. Pour ces appareils ainsi que pour les portes de l'écluse, les vannes, la force disponible est de 300 chevaux, produite par trois machines égales qui envoient l'eau dans deux accumulateurs de 1 400 litres de capacité et 7,40 *m* de course.

Kidderpur docks. — Cinquante grues de 1 750 kilogrammes et six à double pouvoir, 1 750 kilogrammes et 5 tonnes. Six cabestans de 11 tonnes, cinq de 5 tonnes; les machines ont en outre à manœuvrer les portes de l'écluse, les vannes et les ponts mobiles. Deux machines de 230 chevaux chacune. Un accumulateur de 1 400 litres avec 10,65 *m* de course. Les pompe sont à double action, avec plongeurs de 200 *mm* de diamètre; elles sont conduites directement par les machines.

Buenos-Ayres. — Même disposition : Deux machines de 450 chevaux chacune. Un accumulateur de 1 400 litres et 10,65 de course.

Force nécessaire. — Pour se rendre compte de la force nécessaire à la machinerie hydraulique, on pourrait prendre pour terme de comparaison les docks Victoria et Albert de Londres, dont la superficie totale avec les bassins de mi-marée est de 70 hectares et qui sont réputés bien outillés. Ils reçoivent par an à peu près 800 navires avec 2 200 000 tonnes, et quoique bien équipés, ne pourraient guère produire davantage. Cinq moteurs développent une force totale de 1 000 chevaux, soit un cheval pour 2000 tonnes.

D'autre part, à Hull, pour les bassins Saint-Andrews (4 hectares), William Wright (2 hectares), Albert (12 hectares), Humber (3 hectares), Railway (2 hectares) et Princes (4 hectares), la force motrice, de 783 chevaux, fait mouvoir 185 machines différentes, dont les principales sont :

2 élévateurs, 7 norias à grains, 7 paires de portes d'écluses, 33 cabestans, 3 vannes, 2 machines de cales de halage, 3 ponts tournants, 3 tips à charbon de 20 tonnes, 5 jiggers, 5 grues de 25 tonnes, 1 de 7 tonnes, 1 de 3 tonnes, 46 de 1 500 kilogrammes, 8 de 1000 tonnes et 5 de 750 tonnes. (1)

DESCRIPTION DES APPAREILS

Appareil funiculaire. — L'eau sous pression est en général utilisée par l'appareil dit funiculaire, consistant en principe en un piston plongeur qui glisse dans un cylindre de diamètre à peu près égal. La tête du piston porte une poulie sur laquelle passe une chaîne dont une extrémité est fixe, tandis qu'à l'autre est suspendue la charge.

(1) Renseignements dus à l'obligeance de M. l'ingénieur Wilson Worsdell.

Le piston en s'élevant sous l'action de l'eau qui pénètre à sa base tend la chaîne et soulève le fardeau.

L'appareil ne s'emploie guère sous cette forme si simple, car il faudrait donner au piston une course égale à celle que doit parcourir la charge. En réalité, la chaîne passe sur un palan dont une des poulies est portée par la tête du piston et l'autre est fixée au cylindre. L'extrémité libre de la chaîne passe encore sur des poulies de renvoi afin de diriger le fardeau dans sa marche. Les poulies mouflées multiplient la course du piston dans le rapport du nombre de leurs réas.

Malheureusement le rendement des appareils diminue quand le nombre des brins des moufles augmente.

Double pouvoir. — L'inconvénient principal des appareils hydrauliques, c'est qu'ils consomment toujours la même quantité d'eau et développent par conséquent le même travail, quelle que soit la charge. On a remédié en partie à cet inconvénient en employant des cylindres où une disposition d'organes permet de diminuer la force.

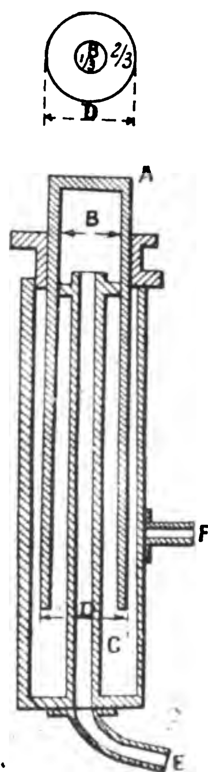


Fig. 228.
Triplo pouvoir.

Un premier agencement consiste à introduire l'eau soit seulement sous le piston pour le pouvoir maximum, soit des deux côtés pour la puissance la plus faible; dans le second cas l'eau qui pénètre autour de la tige et forme tampon est renvoyée à la conduite générale.

Le second système consiste dans l'emploi de deux pistons concentriques. Le piston annulaire peut être calé, et alors l'intérieur agit seul, ou bien ils fonctionnent ensemble et donnent le pouvoir maximum. Il y a ainsi économie d'eau quand le plongeur plein est seul en service.

Triple pouvoir. — A Brême, les grues mobiles sont même à triple pouvoir; la variation est alors obtenue par une disposition analogue à celle indiquée par la figure 228.

Le plongeur A est annulaire; l'aire de la section B est le tiers de la surface totale D. (Les deux rayons sont donc dans le rapport $\frac{1}{\sqrt{3}}$). Suivant que l'eau

pénétrera par le tuyau inférieur E seul ou par le tuyau F seul, ou par les deux à la fois, elle produira donc des efforts proportionnels à 1, 2 et 3.

Dans la pratique, à moins d'avoir des charges très différentes à soulever, il est préférable pour les appareils d'usage très courant de sacrifier une dépense au fond assez minime d'excédent d'eau à la simplicité et à la robustesse des organes, qui sont un des grands mérites de l'outillage hydraulique.

Grues. — De tous les appareils hydrauliques, le plus employé est la grue, fixe ou mobile. Elle se compose d'un appareil funiculaire dont la chaîne se relève le long d'une colonne tournante; celle-ci reçoit un mouvement de rotation de deux petits cylindres funiculaires également. Dans les grues fixes, le mécanisme est souvent placé dans une chambre souterraine.

Mais il n'en peut être ainsi dans les grues mobiles, dont l'usage se répand de plus en plus sur les quais. Nous nous bornerons à leur description :

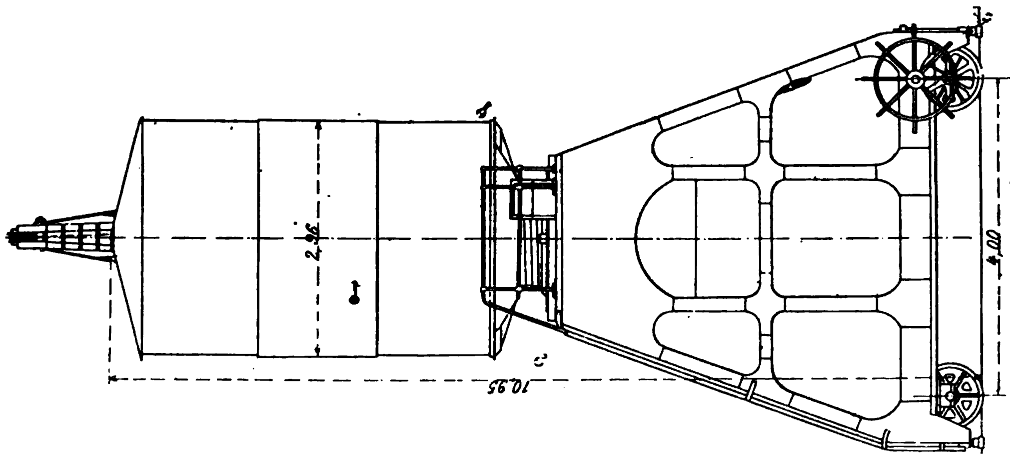
Le cylindre est boulonné à un pivot qui repose sur une plaque formant crapaudine, portée par un truc mobile sur une voie ferrée. Il est prolongé supérieurement par deux flasques en tôle et cornières qui servent de guides au plongeur et sur lesquelles sont boulonnés la volée et le tirant.

Le cylindre porte, en outre d'un anneau où se fixe la chaîne, deux poulies mouflées sur lesquelles elle s'enroule ainsi que sur la moufle mobile portée par la tête du plongeur. Elle passe enfin sur une poulie de renvoi placée à l'extrémité de la flèche.

Un appareil de distribution envoie de l'eau comprimée sous le piston, puis lui permet de s'échapper, au moyen de soupapes conjuguées. Les cylindres horizontaux d'orientation sont boulonnés sur la plaque du truc. L'eau y est envoyée par un mécanisme analogue à celui du tiroir des machines à vapeur, de sorte qu'un cylindre se vide tandis que l'autre se remplit; un arrangement des clapets évite les coups de bélier et renvoie une partie de l'eau dans la conduite d'arrivée, récupérant ainsi une certaine quantité de travail dépensé. Cette disposition donne enfin une sécurité très grande aux manœuvres.

Les cylindres latéraux communiquent le mouvement par des câbles au cylindre de la grue qui sert lui-même d'arbre, et qui est muni d'un

contrepoids pour faire équilibre à la charge. Le plongeur redescend



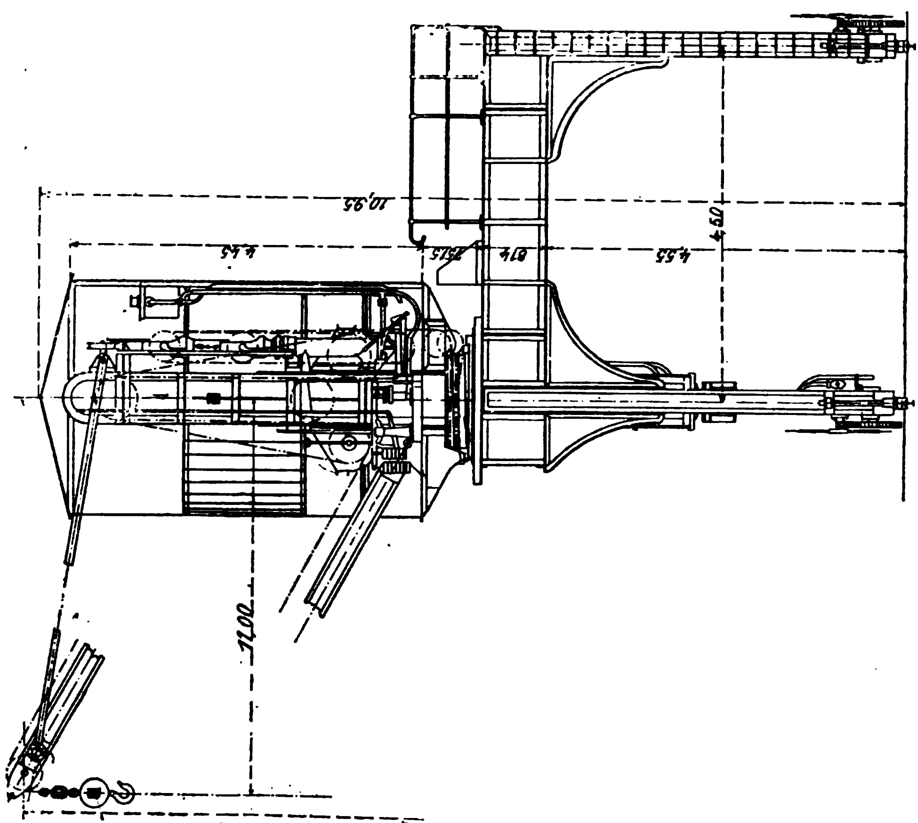


Fig. 229. — Grue à portique.

par son propre poids, quand l'eau en est évacuée.

Les grues de 1500 kilogrammes pèsent 14 tonnes; elles ont en moyenne 7,50 *m* de portée; leur course atteint 16 mètres. La guérite du mécanicien chargé de leur manœuvre est placée sur le devant de l'arbre et tourne avec lui de façon que le conducteur peut facilement se rendre compte de toutes les phases de l'opération. Cette guérite est assez chaude pour soustraire à l'action de la gelée les distributeurs de l'eau sous pression qui y sont renfermés.

Chariot des grues mobiles. — Les grues sont portées sur un truc ordinaire à quatre roues. Le tuyau d'amenée de l'eau, qui pénètre dans le fond du cylindre, se raccorde avec les tubes télescopiques reliés aux prises établies sur la conduite générale. L'arbre porte un contre-poids destiné à empêcher la grue de culbuter sous l'action de la charge.

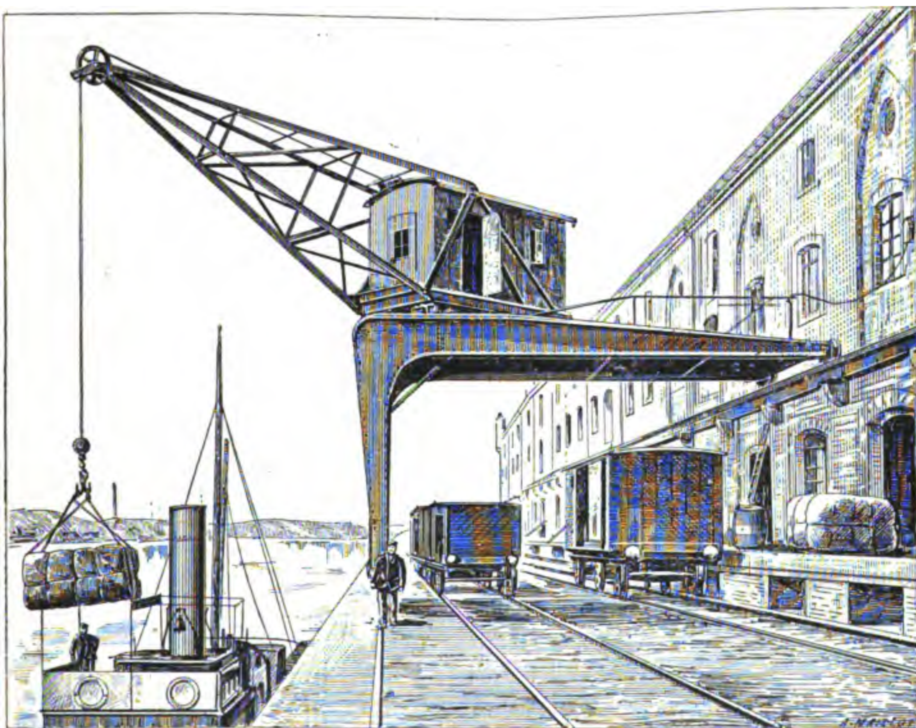


Fig. 230. — Grue de Hambourg.

Ce genre de trucs à l'inconvénient d'exiger une large voie ferrée le long de l'arête du quai. Si une ou deux voies sont nécessaires pour le trafic, les hangars ou magasins doivent être éloignés d'autant de la surface d'eau et de l'atteinte de la grue.

En général, maintenant, les grues sont portées par un portique sous lequel passe une des voies ferrées (fig. 229) ; cette disposition procure déjà une économie notable de terrain.

Aux quais Petersen et Asia, de Hambourg, le beffroi qui supporte la grue mobile se compose d'une équerre à branches inégales ; la plus courte est verticale, et son pied s'appuie sur deux roues accouplées : l'autre est horizontale et porte aussi sur deux voies dont les rails sont fixées sur la façade du hangar. Les deux voies ferrées passent sous le bras horizontal (fig. 230).

La différence de niveau entre les deux rails est de 5,20 *m* et il y a 4,95 *m* de passage libre sous le truc ; la portée de 11 mètres laisse 8,25 *m* en dehors de l'arête du quai ; hauteur d'élévation 13,75 *m* au quai Petersen et 18 mètres au quai Asia.

Voies de circulation des grues mobiles. — La voie de circulation des grues hydrauliques du bassin Bellot au Havre a 4,10 *m* de largeur. Le premier rail est scellé sur le granite à 80 *cm* de l'arête du quai ; il est plat, de 10 *cm* de longueur et 3 *cm* d'épaisseur. La roue correspondante de la grue est munie d'un double boudin, le second rail est placé sur une longrine supportée par des traverses espacées de 2 mètres ; c'est un fer en U de 10 *cm* de largeur et 4 *cm* de hauteur ; sa face plane est au niveau du pavage, afin de ne pas entraver la circulation ; la roue correspondante est sans boudin.

Grues à volée variable. — Dans certaines installations, il est utile d'avoir des grues à volée variable ; c'est lorsqu'elles ont à desservir des bâtiments de longueur très différentes, ou plusieurs lignes de voies ferrées. Tel est le cas, par exemple, de l'appontement d'Algoa-Bay.

La portée de la volée varie de 5,50 *m* à 9,40 *m*. Ce sont des appareils hydrauliques de 2 tonnes de puissance. Ils arrivent à décharger 40 tonnes par heure, tandis que des grues similaires à vapeur à volée fixe ne donnent que 30 tonnes, surtout parce qu'elles ne peuvent comme les autres charger quatre vagons à la fois et que le changement des véhicules sur une même voie fait perdre du temps.

Hauteur. — Il faut limiter la hauteur des grues strictement au service qu'elles sont appelées à rendre. A Hambourg, cette hauteur ne dépasse pas 6 mètres afin que la rotation puisse s'effectuer au-dessous du toit des hangars.

Les chaînes sont calculées pour atteindre le niveau inférieur, quand le bassin est soumis à la marée.

La vitesse d'élévation est d'environ 1 mètre à 1,20 *m* par seconde.

Grues sur toit. — Sur le magasin du quai est du dock Harrington à Liverpool a été adopté un modèle spécial de grue, dont le châssis roule d'une part sur le faîtage et d'autre part sur le mur d'un hangar de deux étages, placé à 2,60 *m* de l'arête du quai. Ces grues hydrauliques ont un pouvoir de 1500 kilogrammes (fig. 231); leur portée est

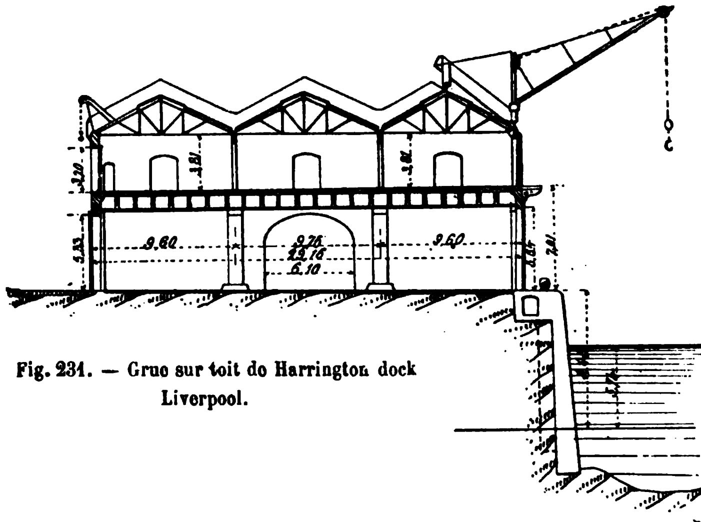


Fig. 231. — Grue sur toit de Harrington dock Liverpool.

assez grande pour atteindre les panneaux des navires. La guérite du mécanicien est à la base du châssis, de sorte qu'il peut voir facilement ce qui se passe à l'intérieur de l'écoutille. Le quai étant complètement libre, le service y est facile. L'inconvénient consiste dans la longueur de la chaîne.

Ces grues exercent sur le mur du hangar une pression de 12 à 14 tonnes par roue, et environ 2 tonnes sur chacune des roues du toit. On doit donc renforcer le faîtage.

Grues hydrauliques mobiles. — L'emploi des grues mobiles du type ordinaire ne peut s'appliquer à la charge par vagons entiers, car il faut que les rails soient interceptés à la place où travaille l'appareil, pour loger la plateforme élévatrice du vagon.

Le problème a été résolu par la grue mobile qui sert à suspendre,

lever, tourner et basculer une légère plateforme qu'on peut placer en tout endroit sur les rails, et sur laquelle monte le vagon. La suspension a lieu par l'intermédiaire d'un tourniquet, autour duquel on peut faire tourner le vagon, quand il a été soulevé par les chaînes qui viennent d'un cylindre hydraulique placé entre les flasques de l'arbre de la grue. Les chaînes sont attachées aux coins de la plateforme.

La grue saisit la plateforme à côté d'elle sur la voie, tourne par le moyen d'appareils qui agissent sur un tambour placé à la base de l'arbre.

Pour basculer, un cylindre tire sur une corde, qui n'agit qu'à l'arrière de la plateforme. La corde est tenue toujours tendue par un troisième cylindre, de sorte qu'au moment voulu, le second cylindre n'a qu'une courte traction à opérer.

Pour empêcher que le charbon ne se brise en tombant, on le verse dans une cheminée télescopique à clapet inférieur, mû par une chaîne qui passe sur le bras. La cheminée s'allonge à volonté pour atteindre le fond de la cale.

La manœuvre complète dure moins de 3 minutes. Chaque grue peut embarquer 1000 tonnes par jour. Elle opère par un panneau, tandis que l'autre écoutille est chargée par une grue fixe. On peut ainsi, en 24 heures, remplir de charbon un navire de 2000 tonnes.

Rendement des grues. — On estime, en général, qu'une grue ne fait guère plus de trente opérations par minute. Nous avons lu que celles des Surrey Commercial Docks de Londres atteignaient le chiffre de 80 opérations, qui semble peu en rapport avec la pratique courante. De même, la grue sur toit de Liverpool fait, dit-on, 60 opérations à l'heure.

Avec 30 opérations par minute et une charge utile de 1250 kilogrammes (250 étant le poids des chaînes, crochets, bennes, élingues, etc.) le rendement des grues de 1500 kilogrammes pourrait donc en dix heures atteindre 375 tonnes. En moyenne, il ne dépasse guère la moitié, par suite des arrêts, des manques d'emploi, etc., etc. Quand la marchandise permet d'utiliser au mieux la puissance de la grue, on peut, au contraire, dépasser ce chiffre et atteindre 450 et même 500 tonnes par jour.

En Angleterre, la moyenne de nombreux ports donne 3300 tonnes

mètres par heure pour le rendement des grues de 1500 kilogrammes en plein travail.

Puissance des grues. — A Marseille, la grue la plus répandue est celle de 1250 kilogrammes (élevant par conséquent une charge nette d'une tonne). En Angleterre, la puissance ordinaire est de 30 cwt (1525 kilogrammes); à Anvers, à Calais de 1500 kilogrammes. Au bassin Bellot, le type courant a deux pouvoirs : 750 et 1250 kilogrammes. On a abaissé le pouvoir minimum à cause des marchandises spéciales qui sont manutentionnées au Havre : ce sont les balles de coton de 230 kilogrammes dont on enlève difficilement plus de deux à la fois ou de 150 kilogrammes (trois ensemble), les balles de laine de 600 kilogrammes, les fûts de suif (450 *kg.*) et de vin (600 *kg.*).

Proportion des diverses puissances. — Lorsque les conditions d'un port ne sont pas spéciales comme au Havre, il sera bon de se guider, dans le choix de l'outillage, sur les errements ordinaires des ports à trafic général. Or, en moyenne, on rencontre $\frac{3}{4}$ des grues de 1500 kilogrammes et $\frac{1}{4}$ à double pouvoir (2 à 3 tonnes). Au bassin Bellot, toutes sont à double pouvoir et leur nombre est le suivant :

20 de 750 et 1250 *kg*
4 » 1500 » 3000 (poids de 22 tonnes)
4 » 3000 » 5000

On en aura encore quelques-unes variant de 10 à 40 tonnes.

Comparaison des grues fixes et mobiles. — Les grues mobiles ont l'avantage de se placer directement devant chaque panneau des navires et d'accélérer les manutentions.

A Marseille, pendant longtemps il n'y a eu que des grues fixes. Pour remédier à leur inconvénient, elles étaient disposées de 110 en 110 mètres trois ensemble, espacées dans chaque groupe de 15 à 22 mètres ; il y avait ainsi probabilité qu'elles se trouveraient à peu près en face des panneaux l'une ou l'autre. Mais cela n'arrivait pas toujours. Il fallait alors recourir à l'aide des treuils du bord, qui eux vont moins vite et ne peuvent décharger les marchandises que sur le pont du navire ; des brouettes les transportent sur les quais. La manutention en pareil cas est onéreuse.

Grue à action directe. — La grue représentée par la figure 232 est installée dans l'arsenal de Malte. Elle soulève de 15 mètres de hauteur, à l'extrémité d'un rayon de 21 mètres, un fardeau suspendu directement au piston d'un cylindre hydraulique. Elle est disposée également pour élever de 27 mètres, avec un rayon de 23 mètres, un poids de 35 tonnes, par une chaîne passant sur une poulie fixée à l'extrémité de la volée et actionnée par une machine hydraulique rotative.

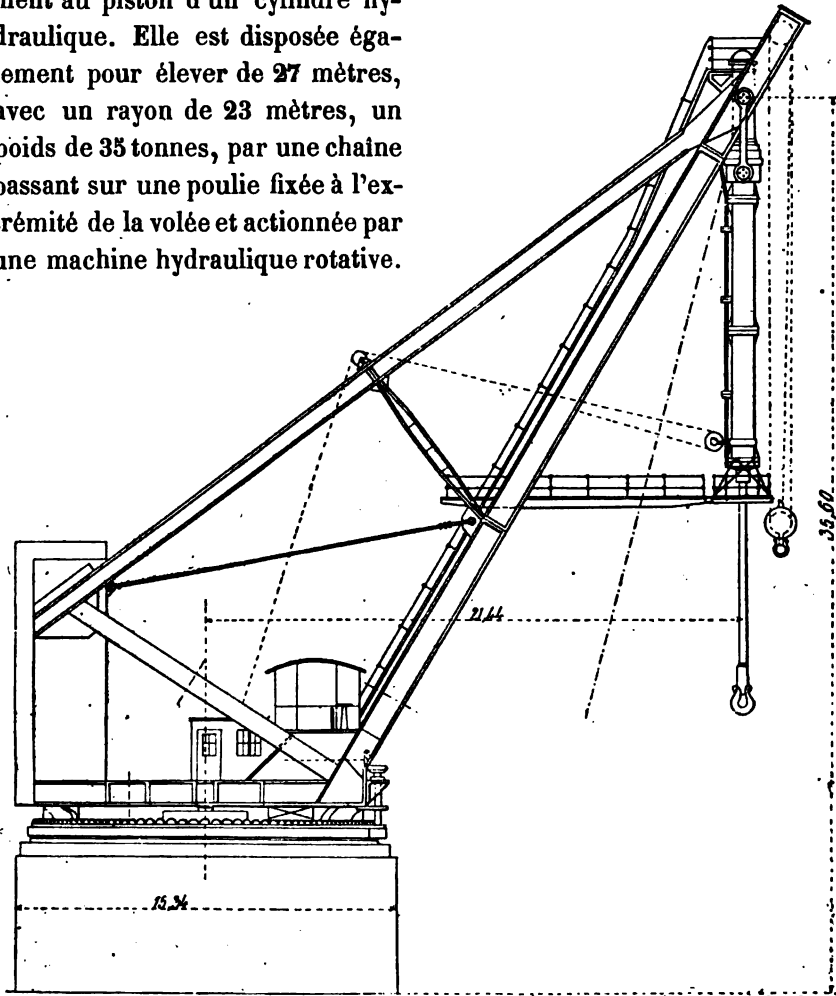


Fig. 232. — Grue de Malte.

Tous les organes sont en fer forgé. L'ensemble roule sur 96 galets de 45 *cm* de diamètre et 40 *cm* d'épaisseur. Le cylindre est en trois anneaux de fonte réunis par 14 boulons de 85 *mm* de diamètre.

La pression est transmise directement de la machine à vapeur à l'eau contenue dans les tuyaux, sans accumulateur. L'installation totale a coûté 600 000 francs.

Trépied oscillant (fig. 233). — Le cylindre à action directe est alors porté sur deux grandes bigues, qu'une troisième inclinée à l'arrière fait incliner plus ou moins.

Dans ces deux genres de grue, la suspension du cylindre à action

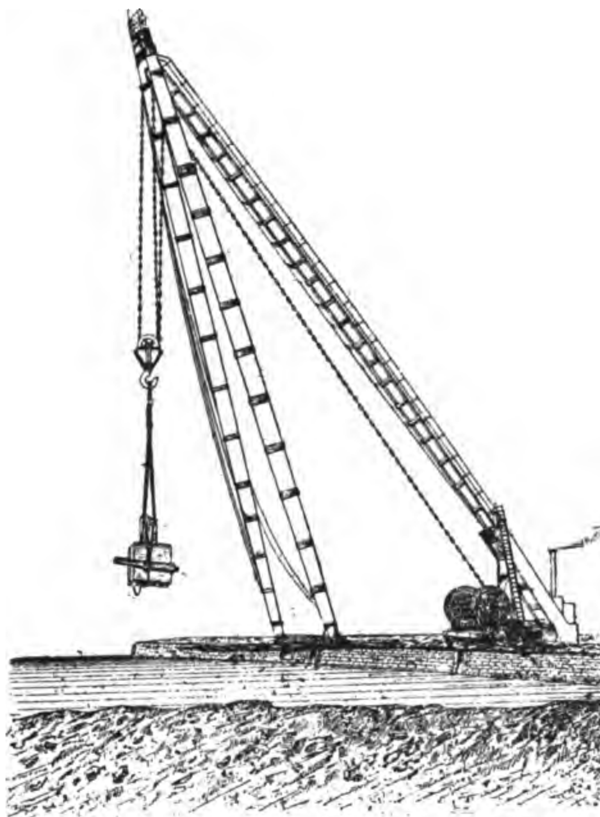


Fig. 233. — Trépiod oscillant.

directe demande des dispositions spéciales ; il est utile également de ménager un appareil de sûreté pour arrêter la descente du fardeau à volonté.

Le trépied oscillant sert aussi de machine à mâter.

Grues de grande puissance en France. — Les principales grues de grande puissance établies en France sont les trois grues tournantes de 160 tonnes, avec portée de 20 mètres et hauteur de 36 mètres, à Brest, Toulon et Lorient.

Une bigue oscillante de 120 tonnes avec course verticale du fardeau de 14 mètres et déplacement horizontal égal, à Marseille.

Une bigue semblable de **100** tonnes, hauteur **35** mètres et déplacement de **18,50** *m*, à Cherbourg.

Jigger. — Le jigger ou treuil hydraulique n'est pas un treuil, puisqu'il n'est pas à rotation. C'est un appareil funiculaire. Le type représenté par la figure 234 comporte une chaîne. Au Havre on l'a remplacée par un câble en acier qui s'enroule sur un tambour mû par une chaine de Galle qu'entraine un cylindre hydraulique.

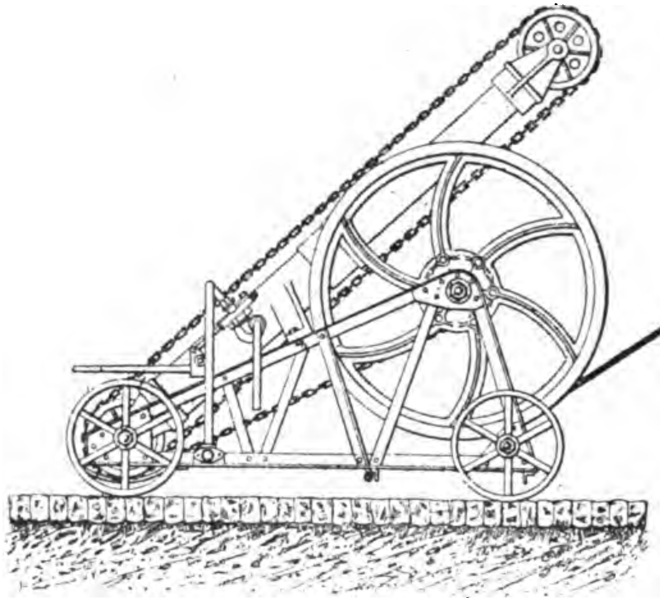


Fig. 234. — Jiggor.

Ces appareils, qui peuvent être fixes ou mobiles, sont assez légers pour être transportés sur une route ordinaire. Leur force est d'une tonne. Ils servent à l'élévation des marchandises aux étages des magasins ou au déchargement des navires. Le câble passe sur une poulie suspendue à un cordage du bâtiment. Il est surtout appliqué aux charges légères de 500 à 1000 kilogrammes, pour lesquels la grue est trop puissante.

Ces appareils donnent jusqu'à 3 mètres de vitesse par seconde. Les fenêtres des magasins où l'on emploie le jigger sont munies d'une poulie où passe son câble. Le jigger se relie à une prise d'eau, un hydrant, au moyen de tuyaux télescopiques.

Le jigger est aussi employé au transbordement des marchandises des

navires placés à quai au second rang, ou à faire passer des colis de la cale d'un bateau sur une allège et réciproquement.

La chaîne du treuil passe alors sur une poulie accrochée aux cordages, aux vergues ou aux hunes des bâtiments.

C'est avec ces treuils que sont obtenus les mouvements les plus rapides. A Dundee des balles de coton de 250 kilogrammes sont élevées à 9 mètres de hauteur à raison de 240 par heure.

A Anvers, les treuils hydrauliques sont très employés à l'entrepôt Royal; les fenêtres ont toutes à cet effet une poulie à demeure.

Leur poids est de 5 700 kilogrammes.

Ascenseurs. — Ils se composent d'un plateau de $2,50 \times 1,70$ *m* qui se meut entre deux guides en bois garnies de fer plat, sous l'action d'un appareil funiculaire; la vitesse maxima est d'un mètre par seconde. Le palan est combiné pour la hauteur du dernier étage.

L'eau est commandée par une soupape à levier et contrepoids actionnée par une chaînette qui traverse tous les planchers de sorte que la manœuvre peut se faire de tout étage. Une disposition spéciale permet d'utiliser une partie du travail mécanique produit par la descente des colis des étages au rez-de-chaussée.

Le poids est de 6 300 kilogrammes.

Plaques tournantes. — C'est aussi l'eau sous pression qui actionne les plaques tournantes des voies ferrées, par un mécanisme analogue à celui de la rotation des grues.

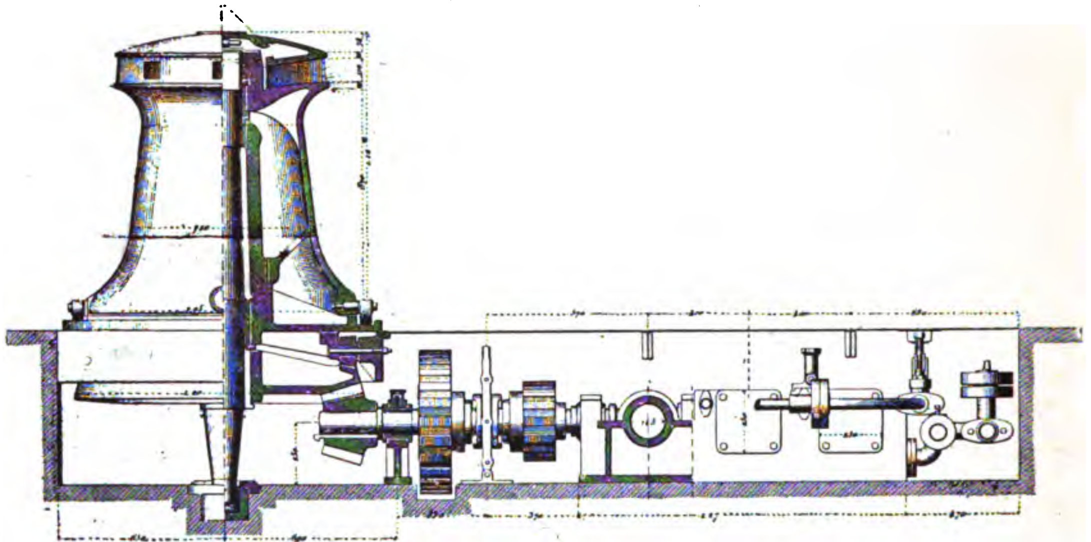
Cabestans du Havre (fig. 235). — Les huit cabestans hydrauliques de l'écluse Bellot se composent d'une poupée à arbre vertical montée sur une plaque de fondation en fonte et pouvant être manœuvrée à bras. Le mouvement est transmis par deux roues d'angle et un jeu de roues d'engrenage qui permettent, à l'aide d'un embrayage, de donner à la poupée des vitesses d'enroulement de 20 à 50 *cm* par seconde.

Trois pistons à fourreau, agissant dans des cylindres fixes, actionnent l'arbre moteur horizontal à trois coudes par l'intermédiaire de bielles attelées sur les pistons et sur l'arbre.

Les cylindres fixes et non oscillants comme dans le type Armstrong sont plus simples; le moteur est également moins délicat que le système Brotherhood.

La puissance est de 5 tonnes à la vitesse de 20 *cm* et 2 tonnes avec 50 *cm*.

Les cylindres ont 145 *mm* de diamètre ; la course du piston est de 150 *mm* et le nombre de tours de 30 par minute ; le diamètre de l'arbre est de 100 *mm*. La dépense d'eau est de 3,75 *l* par seconde.



Demi-élévation. Coupe *ab*.

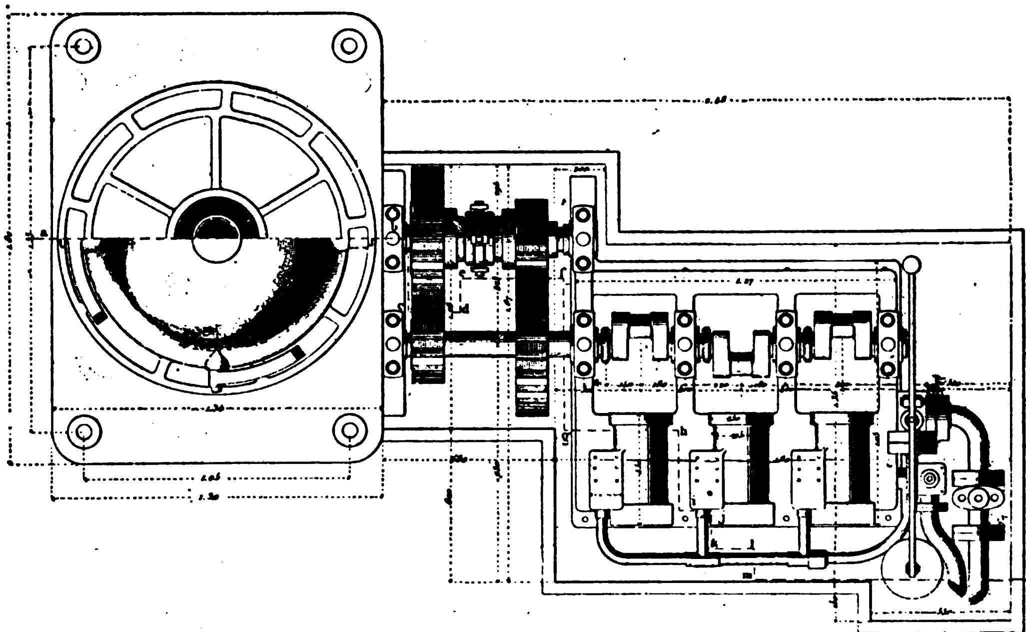
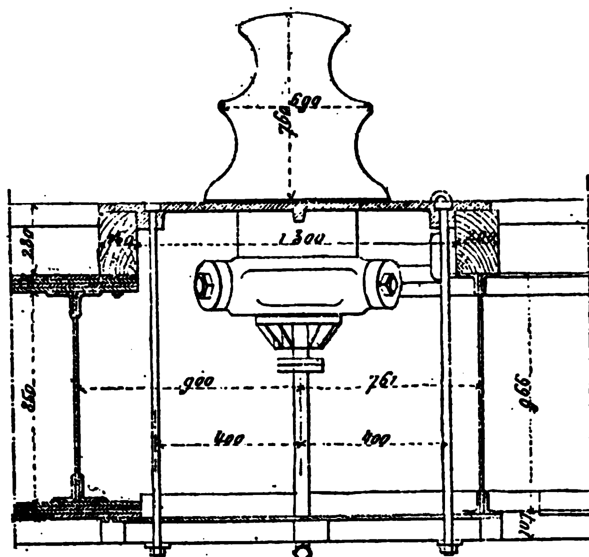


Fig. 235. — Cabestan hydraulique du Bassin Bellot. — Plan.

Pauillac. — Les figures 236 représentent les cabestans de l'appontement de Pauillac.



ig. 236. — Pauillac.

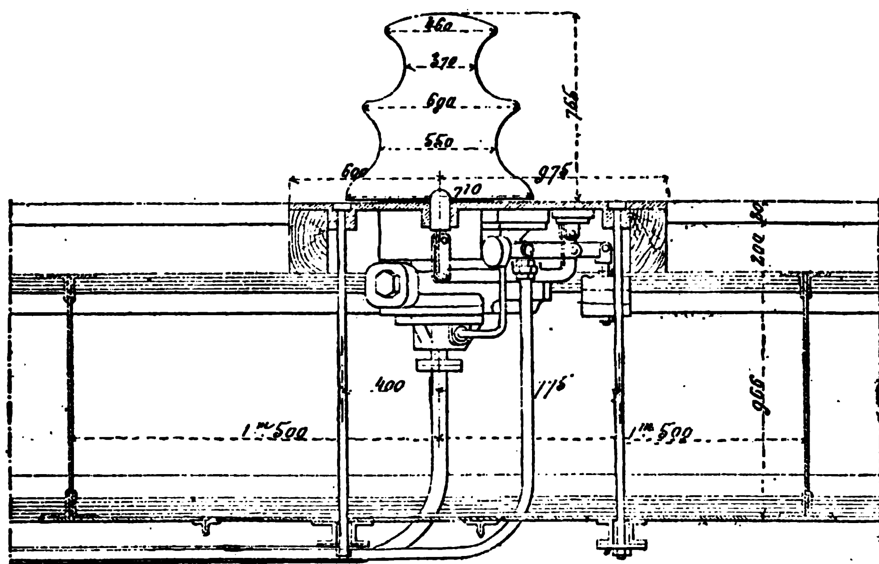


Fig. 236. — Cabestan de Pauillac.

Saint-Nazaire. — Les appareils de manœuvre des treuils des portes, des vannes d'aqueduc et des cabestans sont des machines rota-

tives mues par l'eau comprimée et faisant tourner un arbre coudé qui transmet la force à l'aide de pignons et d'engrenages. Ce mode d'emploi de la force hydraulique a paru meilleur que l'ancien système de pistons à chaînes mouflées, très lourds et très encombrants. Chaque cabestan développe sur le brin de l'aussière une force de traction de 2 500 kilogrammes.

Multiplicateur. — La manœuvre des machines puissantes, comme les grandes grues, les trépieds oscillants, exige un grand volume d'eau sous pression. Leur conduite est disposée de façon à y appliquer au besoin toute la force disponible.

Parfois elle ne suffit même pas et il faut avoir recours à un multiplicateur. Il se compose de deux cylindres hydrauliques en prolongement l'un de l'autre, à pistons d'inégal diamètre. Ils agissent comme une presse. L'eau arrivant sous le petit piston pousse le grand piston qui refoule l'eau sous une pression plus forte ; les pressions sous les deux pistons sont en raison de leur diamètre.

On peut renverser les rôles et diminuer la pression du petit cylindre, en faisant agir l'eau de la conduite générale dans l'autre. De cette façon, un même appareil possède trois pouvoirs, le troisième étant produit par l'eau venant directement de l'accumulateur sans passer par le multiplicateur. Une bigue peut ainsi être disposée pour produire à volonté les efforts de 25, 75 et 120 tonnes.

Bouche d'incendie. — Un faible jet d'eau sous haute pression, injecté dans un fort jet d'eau ordinaire, augmente à la fois la portée et le débit de celui-ci. L'appareil devrait donc être installé partout où le feu est à craindre. Appliqué dans High Street, à Hull, il a puissamment contribué à l'extinction d'un incendie. L'injecteur peut doubler la hauteur du jet d'eau.

Manœuvre des portes d'écluses. — Nous prendrons comme exemple la manœuvre des portes d'ebbe de l'écluse Freycinet à Dunkerque ; elle se fait au moyen de treuils placés dans des puits : la figure 237 indique l'un des treuils qui sert à la fois à ouvrir un vantail et à fermer celui de l'autre bord, au moyen de deux chaînes de 25 *mm* de diamètre.

Chacune d'elles, après s'être enroulée sur un tambour en fonte, se

dirige parallèlement au bajoyer, vers une poulie à axe vertical qui la renvoie sur le bord de l'écluse. Là, elle passe sur une deuxième poulie de renvoi à axe horizontal, puis descend dans une rainure creusée dans la pierre du parement du bajoyer et vient sur une troisième poulie de renvoi, dont le réa tourne sur un axe horizontal et dont la chape peut osciller autour d'un réa vertical fixé dans une cavité de la maçonnerie, à peu près au milieu de la hauteur de la porte. Partant de cette poulie, la chaine va s'attacher au milieu de la hauteur du poteau busqué qu'elle doit tirer.

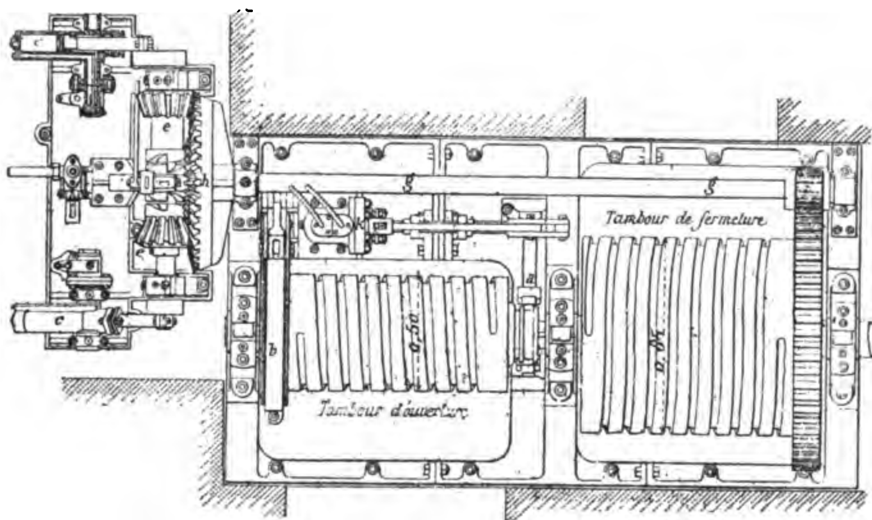


Fig. 237. — Dunkerque. — Treuil de manœuvre des portes d'écluses.

Les deux tambours d'enroulement des chaines ont un même axe de rotation horizontal et perpendiculaire à l'axe de l'écluse ; chacun d'eux présente une rainure hélicoïdale pour guider l'enroulement de la chaine ; le sens de l'hélice de l'un des tambours est inverse de celui de l'autre. Il y a 9 spires sur chacun des tambours.

Le diamètre du tambour de la chaine de fermeture ou chaine d'aval est de 85 *mm*, celui du tambour de la chaine d'ouverture de 50 *mm* : la vitesse angulaire des tambours est la même. Pour la manœuvre d'ouverture, on déroule en 8 tours 1/2 une longueur de chaine d'aval de 23,36 *m*, assez grande pour que la chaine qui traverse l'écluse tombe et repose sur le radier ; dans le même temps on enroule les 14 mètres de la chaine d'amont, qui représentent la longueur nécessaire pour l'ouverture complète d'un vantail.

Le grand tambour de fermeture est calé sur l'arbre ; l'autre reçoit son mouvement de l'arbre par un encliquetage en acier *a* qui n'agit que pour l'enroulement de la chaîne. Pour la fermeture, le tambour ne tourne que par suite de la traction de la chaîne, à partir du moment où elle est entraînée par le vantail qui se ferme. Le déroulement du petit tambour peut d'ailleurs être réglé par un frein *b*, si l'on fermait les portes avec un commencement de courant sortant.

La quantité de chaîne à enrouler ou dérouler est donc réglée automatiquement.

L'arbre des tambours peut, en cas d'accident du moteur à eau, être mû à la main par un engrenage conique dont le pignon est calé sur l'arbre vertical d'un cabestan.

Le moteur hydraulique comprend deux cylindres oscillants *c*, à double effet, qui actionnent deux manivelles calées à angle droit sur un même arbre *d*, placé perpendiculairement au treuil de manœuvre.

Il porte deux pignons coniques dentés *e*, qui ne sont pas clavetés à demeure. Un manchon d'embrayage *f* peut rendre l'un ou l'autre de ces pignons solidaires avec l'arbre.

Au droit du milieu de l'arbre des manivelles, et perpendiculairement à sa direction, un autre arbre *g*, parallèle à celui du treuil de manœuvre, porte à l'une de ses extrémités une roue conique *h* présentant deux couronnes dentées concentriques qui correspondent respectivement à l'un ou l'autre des pignons coniques. A l'autre extrémité, cet arbre porte un pignon *i* qui engrène avec une roue cylindrique calée sur l'arbre du treuil. Suivant la position donnée au manchon d'embrayage, la machine rotative, quoique tournant toujours dans le même sens, entraîne le treuil dans un sens ou dans l'autre. Un petit moteur spécial *k* est disposé pour manœuvrer l'encliquetage *a*.

L'attache des chaînes sur le poteau busqué se fait quelquefois autrement ; ainsi, à Saint-Malo, la chaîne de fermeture qui part du treuil passe dans une poulie verticale placée au sommet du poteau, puis sur une autre située à la base, et de là va s'attacher à un point fixe à angle droit avec le vantail sur le radier ; de cette façon, le poteau busqué est tiré par ses deux extrémités, ce qui contribue à sa rigidité.

Un dispositif analogue est employé pour la chaîne d'ouverture.

Bordeaux. — La figure 238 représente l'appareil funiculaire de l'écluse de Bordeaux.

Portes des écluses de Barry (fig. 239). — On a réalisé aux écluses de Barry un dispositif qui supprime toute transmission de mouvement. Les portes sont actionnées directement par le piston d'un cylindre hydraulique dont le diamètre est de 75 *cm* ; la tige du piston a 325 *mm* de diamètre et 7,80 *m* de course. Le cylindre d'acier est composé de trois parties et est éprouvé à la pression de 210 kilogrammes par centimètre carré.

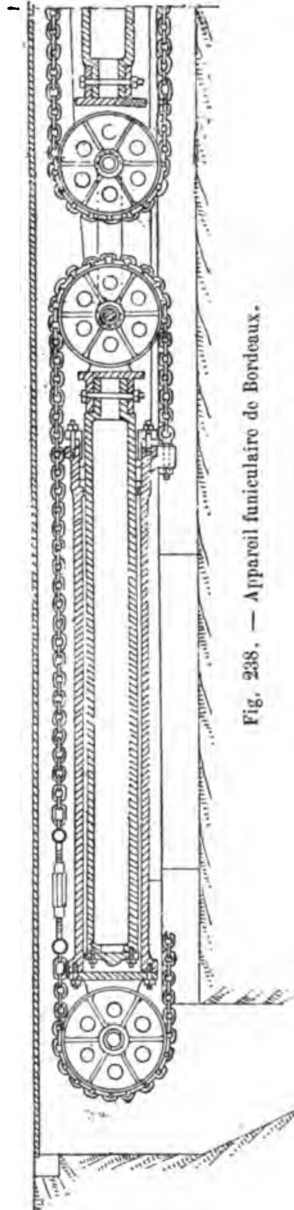


Fig. 238. — Appareil funiculaire de Bordeaux.

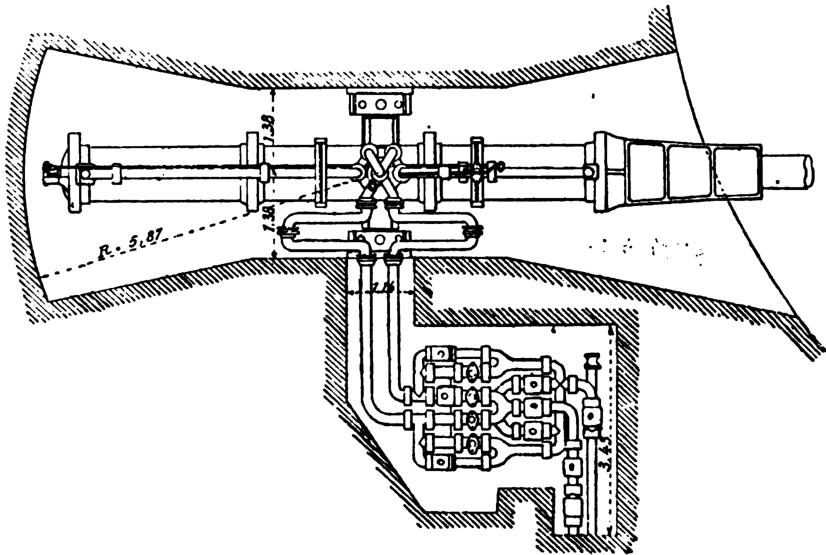
Le piston est en fer et fortement guidé. Des tourillons horizontaux et verticaux, fixés à une sorte de joint à la Cardan dans leurs paliers permettent au cylindre de se mouvoir dans tous les sens. L'ensemble est assez résistant pour supporter même le choc des vagues.

C'est à peu près le même système qui avait été employé précédemment aux nouvelles écluses de Bougival par Barret.

La commande directe des portes d'écluses par un cylindre hydraulique a aussi été appliquée aux West India docks de Londres ; mais là le cylindre, au lieu d'osciller sur des tourillons, est fixe (fig. 240), et c'est la bielle qui, par l'intermédiaire d'une traverse et de pivots tant verticaux qu'horizontaux, peut tourner dans toutes les directions.

Ce système a l'avantage d'être rapide et de dispenser des chaînes ainsi que de leurs inconvénients ; mais il en présente lui-même deux importants. Le premier résulte de l'application de la force au sommet de la porte ; celle-ci subit des efforts qui n'existent pas avec le mode d'attache ordinaire. Le second, c'est l'impossibilité de remplacer la manœuvre mécanique par celle à la main en cas d'accident. Il faudrait alors disposer des palans provi-

soires, mus par cabestan ou treuil, installation qui serait très longue.



Plan.

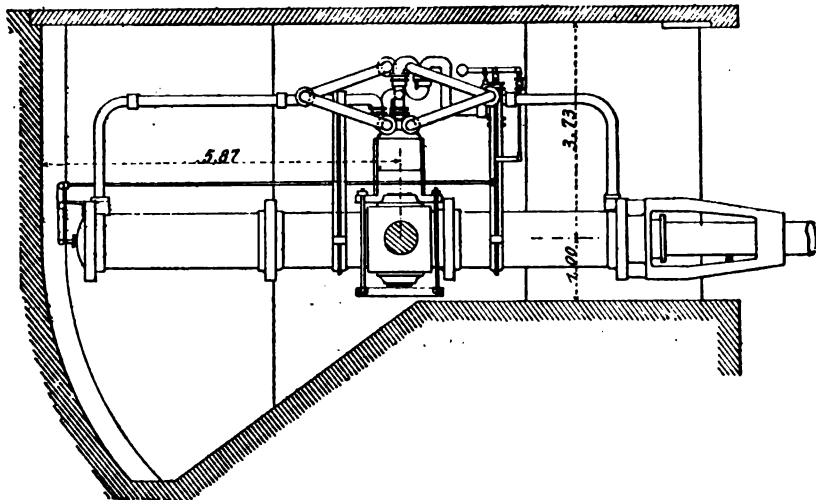


Fig. 239. — Barry. — Manœuvre des portes d'écluses. Elévation.

Portes tournantes des aqueducs transversaux. — A l'écluse Freycinet, les aqueducs transversaux sont fermés par un système de deux portes tournantes d'égales dimensions, à axe médian vertical, qui s'appuient sur un cadre fixé dans la maçonnerie et sur un montant vertical commun placé au milieu de l'ouverture. Elles sont ouvertes,

fermées ou tenues entr'ouvertes, toutes les deux à la fois, à l'aide d'une seule tige verticale à laquelle sont fixées deux petites bielles qui ont leur point d'attache entre l'axe de rotation du vantail et l'appui contre la maçonnerie. Cette tige est mue, à volonté, par un moteur hydraulique ou à bras.

Fig. 240. — Manœuvre des portes au West India dock.

Le moteur hydraulique consiste en un cylindre à double effet dont le piston agit directement sur la traverse horizontale d'un cadre rigide attelé par sa traverse inférieure à la tige verticale.

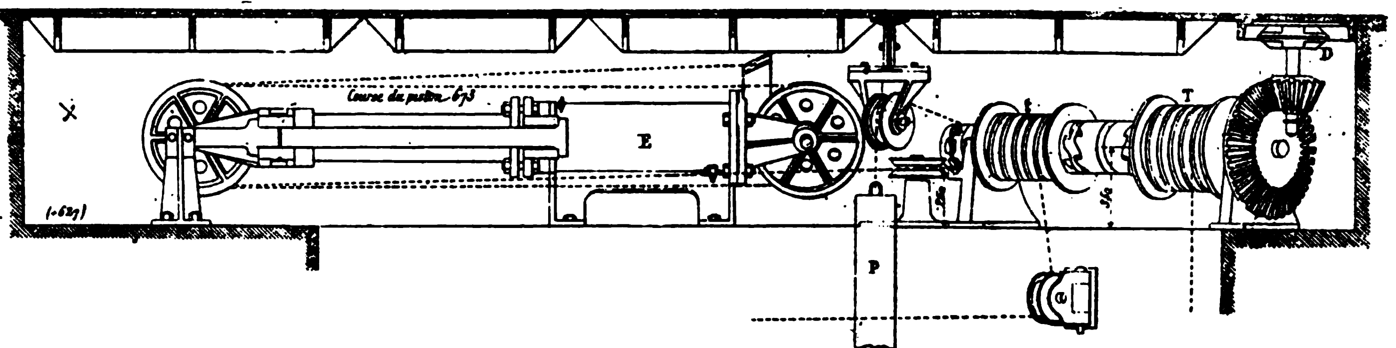
Pour lever à bras, on se sert d'un cabestan placé sur l'axe vertical d'une vis en fer qui, en tournant, fait monter un écrou de bronze guidé, sans rotation possible, dans une glissière verticale en fonte. Cet écrou porte un talon, en forme de douille, à travers lequel la tige du piston moteur passe, avant de s'engager dans la traverse supérieure du cadre auquel est attelée la tige de la vanne. En montant, l'écrou entraîne cette traverse. L'écrou est rendu, par le jeu d'une clavette, indépendant ou solidaire de la tige.

Portes en éventail des aqueducs transversaux. — On a vu précédemment page 121, la disposition imaginée à l'écluse de Dunkerque pour faire concourir à l'ouverture de ces aqueducs la chute d'eau qui existe entre le bassin à flot et l'avant port.

Si la différence des niveaux est trop faible pour déterminer l'ouverture après celle de la vanne, on tire la porte au moyen d'une chaîne enroulée sur le tambour *t* d'un treuil (fig. 241). Le second tambour T sert à fermer la porte lorsque les niveaux d'amont et d'aval sont égalisés. Le treuil peut être mû à la main, au moyen d'un engrenage conique dont le pignon est fixé sur un arbre vertical terminé par une tête de cabestan D, à 4 douilles inclinées.

Quant au moteur hydraulique, il se compose d'un cylindre à simple effet E. Le mouvement de la tête du piston, amplifié par une moufle renversée, est transmis au treuil par la chaîne de cette moufle. A cet effet, le dernier brin est dirigé par une poulie de renvoi à axe vertical P, sur une poulie à empreintes calée à l'extrémité de l'arbre du treuil; il s'engage sur cette poulie à sa partie inférieure, embrasse la demi-circonférence postérieure et va passer sur une deuxième poulie de renvoi placée au droit de l'un des murs du puits, pour s'attacher enfin, par son extrémité libre, à un contrepoids *p*. Ce contrepoids a pour fonctions: 1° de tendre la chaîne sur la poulie à empreintes; 2° de faire revenir en arrière le piston du cylindre jusqu'à son point de départ, quand le mouvement de fermeture ou d'ouverture est terminé et que la soupape de vidange de l'eau comprimée est ouverte.

Les deux tambours du treuil tournent librement sur leur arbre commun; ils sont séparés par un manchon d'embrayage dont la position



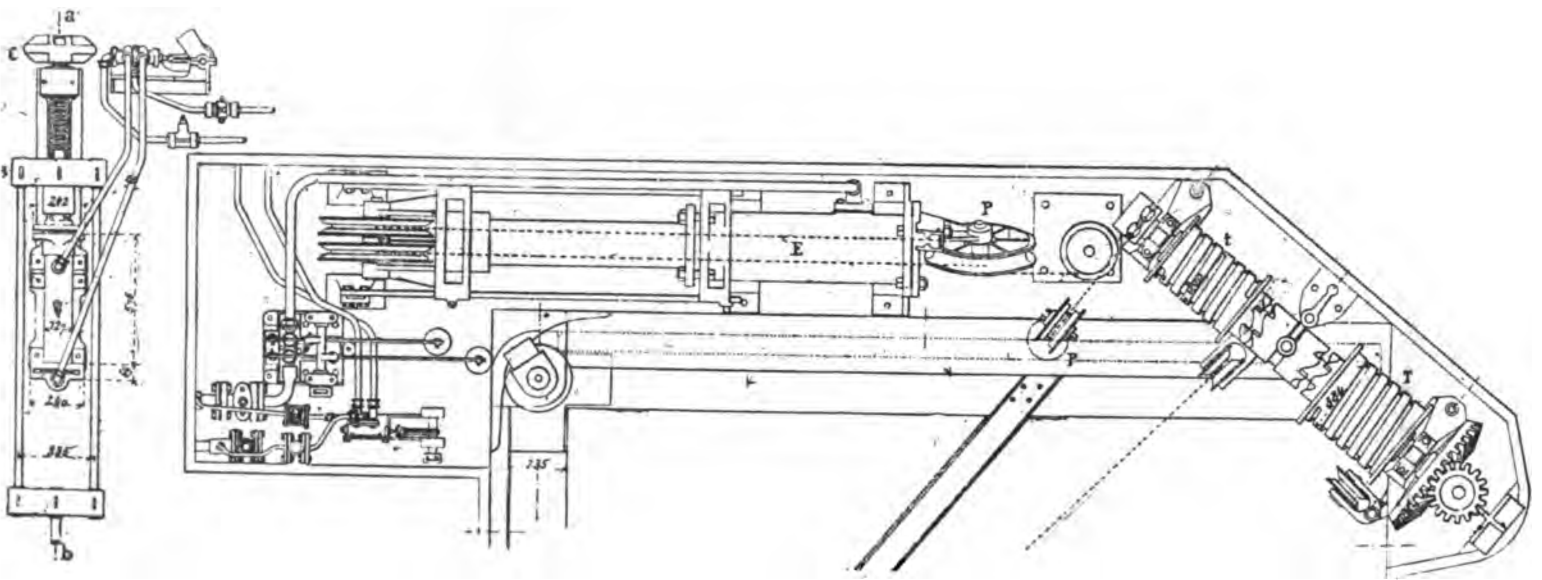


Fig. 241. — Dunkerque. — Manœuvre hydraulique des portes en éventail.

détermine l'entraînement du tambour qui doit agir ; le second reste libre, ce qui lui permet de tourner en sens inverse pour laisser dérouler sa chaîne, à mesure que la porte se déplace.

DIVERS APPAREILS DE LEVAGE

Transporteur Temperley (fig. 242). — L'usage de cet appareil se répand beaucoup depuis quelques années. En principe, il comprend un chariot mobile sur une poutre aérienne et muni d'un mécanisme automatique au moyen duquel il se fixe sur la poutre pendant la montée ou la descente de la charge. Celle-ci s'accroche d'elle-même au chariot à la hauteur voulue, puis se déplace sur la poutre et se fixe de nouveau au point où a lieu le déchargement. Toutes ces opérations s'effectuent très facilement par un seul câble qui s'enroule autour d'un tambour.



Fig. 242. — Transporteur Temperley.

L'appareil prend les formes les plus diverses selon l'usage auquel il est destiné ; pour les longues distances, la poutre en fer à T est remplacée par un câble.

L'avantage du transporteur consiste en la rapidité et la précision des manœuvres et dans sa facile installation. L'organe de préhension et d'arrêt consiste dans une pièce d'un mécanisne fort ingénieux et résis-

tant qui a valu à l'appareil son succès. Enfin la charge n'exécute que le mouvement strictement nécessaire.

Le transporteur s'installe fixe ou mobile, à terre ou sur des navires, qui s'en servent à la place des treuils ordinaires du bord.

Chaland Paul. — Ce système, bien que nouveau et n'ayant pas même la sanction de la pratique, semble assez intéressant pour être cité.

Un chaland est partagé dans le sens de sa longueur par deux cloisons en trois compartiments ; celui du milieu est un couloir où passe une chaine sans fin qui se relève à l'avant sur un bras articulé. Les deux du milieu reçoivent le charbon qui peut s'écouler par des portes à coulisse latérales et tomber sur la chaîne sans fin. Le déchargement s'opère à l'extrémité du bras, à la hauteur voulue.

Les palettes de la chaîne sans fin sont trouées, pour que la poussière passe à travers ; elle tombe sur le fond du chaland et est balayée par des racloires en caoutchouc, qui l'entraînent à l'avant où l'on peut l'enlever.

EXEMPLES D'OUTILLAGE DE PORTS

Outillage de Hambourg. — Hambourg est le port le mieux pourvu d'instruments de levage.

En 1891, date la plus récente pour laquelle nous ayons des renseignements statistiques, les importations s'élevaient à 8 900 000 tonnes et les exportations à 5 300 000 tonnes. 3 100 000 tonnes étaient débarquées de 3 758 navires sur les quais dont la longueur était alors de 10 300 mètres.

Sur les quais existaient 421 grues avec un pouvoir total de 1000 tonnes, donnant ainsi un pouvoir de près de 100 kilogrammes par mètre courant de quai.

De ces grues, 66 étaient fixes et 355 mobiles. Parmi celles-ci il y en avait 2 électriques et 100 à main d'une tonne de puissance.

En faisant abstraction d'une part des grues à bras, dont le rendement est inférieur, mais enfin utile, d'autre part des grues de grand pouvoir qui au Havre sont réparties dans les autres bassins que le bassin Bellot, il reste encore 570 tonnes de pouvoir réparties sur les grues de service courant, soit 55 kilogrammes par mètre courant. Or au bassin Bellot, outillé à neuf, pour 2 900 mètres de quais (compris

une portion du bassin de l'Eure), il n'existe que 28 grues et 16 treuils représentant en tout 70 tonnes, soit 24 kilogrammes par mètre courant.

Alexandra dock, Hull. — L'outillage d'Alexandra Dock comprend 24 grues mobiles de 1 500 kilogrammes, 2 de 5 tonnes également mobiles, et une de 10 tonnes fixe, actionnées par l'eau sous pression. Deux grues à vapeur sont de la force de 25 et 100 tonnes.

On a récemment donné au bassin une extension de 3 hectares environ sous la forme d'un petit bassin triangulaire. Aux trois élévateurs de charbon primitifs sont venus s'y joindre deux autres semblables, et également deux mobiles, qui remplissent chacun le deuxième panneau d'un navire.

La capacité de chargement de ces élévateurs étant de 370 tonnes par heure, les bâtiments peuvent donc recevoir 740 tonnes pendant ce temps.

L'eau sous pression est comprimée par quatre paires de pompes donnant 23 litres par seconde.

L'exportation de charbon en 1898 a été de plus d'un million de tonnes, manipulées seulement par les trois premiers élévateurs, dont la production horaire effective ne dépasse donc guère 120 tonnes. [1].

GRAINS

L'importation et l'exportation des grains ont déterminé dans les ports d'expédition et de réception un mouvement considérable auquel il a fallu adapter des procédés spéciaux.

Deux types de magasins sont seuls employés aujourd'hui. Les uns, et c'est le plus grand nombre, sont des constructions ordinaires à cinq, six ou sept étages, présentant le minimum de murs de refend, afin d'utiliser au mieux la surface où le grain s'entasse sur une hauteur qui ne dépasse guère 1,50 *m*. Ce système très simple offre de nombreux inconvénients. La conservation du grain exige qu'il soit fréquemment remué, afin de lui enlever toute trace d'humidité et pour le débarrasser des insectes ; cette opération, dans ce genre de magasins, est exécutée à la pelle par des hommes et il en résulte une main-d'œuvre très coûteuse.

(1) Renseignements dus à l'obligeance de M. l'ingénieur Matt. Stirling.

L'autre type est le silo auquel on applique improprement le nom d'élévateur, qui est réellement celui de la noria servant à y transporter les grains. Le magasin est partagé par des cloisons verticales en caisses juxtaposées où s'emmagasinent les céréales; ces caisses constituent les silos. On les a, en effet, comparées aux anciens puits

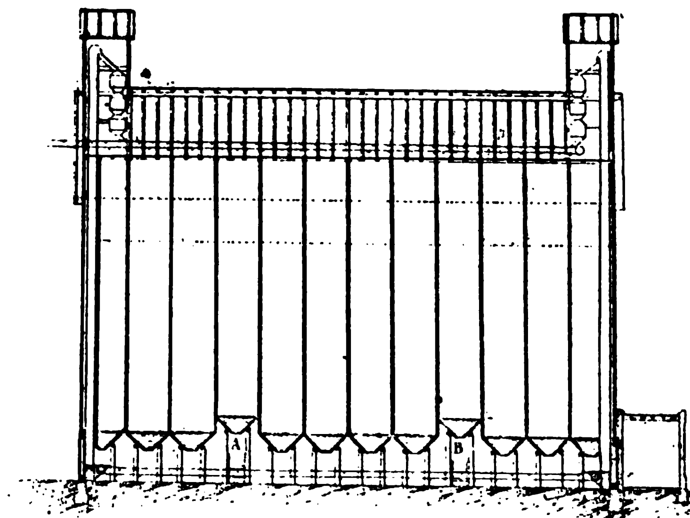


Fig. 243. — Coupe transversale d'un silo.

souterrains où les anciens entassaient le blé; dans les deux cas, la conservation est due à la privation d'air. Seulement le silo moderne offre l'avantage, en outre d'une manutention facile, de permettre le transfert du grain d'un réservoir à un autre et d'imiter ainsi à peu de frais le pelletage (fig. 243).

Déchargement. — Les céréales arrivent au magasin par wagons ou par allèges, suivant qu'elles ont emprunté la voie de terre ou celle de mer. On a presque partout renoncé au transport par sac, onéreux, lent et qui ne pourrait satisfaire aux immenses besoins actuels; le véhicule est rempli en vrac et la manutention des grains s'opère non comme celle d'un solide, mais comme celle d'un véritable liquide à particules indépendantes. C'est la base du système.

Le wagon est vidé dans une trémie à bords inclinés de 35° ménagée à la base des murs du magasin et qui aboutit à un puits de 2 à 3 mètres de profondeur. La vidange se fait au moyen d'une large écope ramenée mécaniquement vers la porte par une chaine; deux hommes

avec cet appareil peuvent débarrasser en cinq minutes un wagon de 20 mètres cubes.

Le grain est retiré du puits par une roue à godets ou noria, le véritable élévateur, et il est porté au sommet de l'édifice.

Si, au contraire, le blé est apporté par bateau, il peut être déchargé de plusieurs façons.

Grues. — On emploie encore beaucoup en Angleterre la grue munie d'une drague à mâchoires pleines du système Priestmann. Au Waterloo Dock de Liverpool les grues au nombre de cinq sont fixées au sommet du magasin, disposition qui exige la manœuvre d'une grande longueur de chaîne; aussi le rendement par heure et unité n'est-il que de 50 tonnes.

Aux Surrey docks de Londres, les grues ne sont autres que les appareils mobiles ordinaires, auxquels on adapte la drague à mâchoires; le grain dragué est déposé dans une caisse portée par un chariot qui va le décharger au-dessus d'une trémie pratiquée dans le mur du magasin. Le rendement horaire atteint alors 160 mètres cubes, quand il s'agit du déchargement d'allèges, où le remplissage des dragues est aisé. Les grues étant mobiles, tous les panneaux peuvent être servis à à la fois.

La trémie aboutit, comme il a été indiqué ci-dessus, à un puits d'où le grain est repris par un élévateur.

Mais il vaut mieux employer directement l'élévateur mobile ou flottant.

Élévateurs.— L'élévateur fixe est une noria composée d'une courroie sans fin armée de godets et tournant autour de deux tourteaux. La courroie est en caoutchouc. Pour un débit de 3 à 4 mètres cubes par minute, sa largeur est de 50 à 55 *cm* et la vitesse de 2 mètres par seconde. La contenance d'un godet est de 11 litres environ; les dimensions sont $50 \times 15 \times 15$ *cm*, la première étant celle parallèle au ruban.

Les tourteaux ont en largeur quelques centimètres de plus que la courroie. L'inférieur a 50 *cm* de diamètre; l'autre est beaucoup plus grand, environ 1,80 *m* de diamètre pour le débit indiqué Pour les petits débits (au-dessous d'un demi-mètre cube par minute) les poulies sont égales.

L'ensemble est contenu dans une enceinte fermée en bois ou en fer.

L'élévateur mobile (fig. 244) est employé quand les allèges peuvent venir au pied même du magasin. A cause des changements de niveau

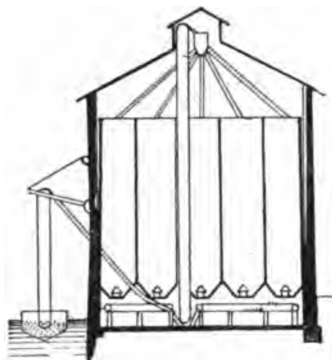


Fig. 244.— Elévateur le long d'un quai.

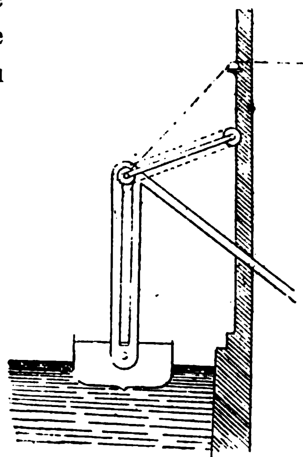


Fig. 245.— Elévateur articulé.

tant du grain lui-même que de l'eau, l'appareil peut être abaissé d'une certaine quantité; il est, à cet effet, attaché à l'extrémité d'une vergue inclinée à volonté (fig. 245). On en verra plus loin un exemple à propos de l'installation de l'Alexandra Dock à Liverpool.

Elévateur volant. — Il est représenté par la figure 246 établi à Brême sur un quai fondé sur pieux à vis.

Elévateur flottant. — Lorsque l'accostage des navires est impossible, le déchargement s'exécute par un élévateur flottant.

La noria est suspendue à l'extrémité d'une vergue articulée au sommet d'une tour portée sur un chaland, elle peut être ainsi descendue dans la cale du navire.

Si l'on est assez près de terre, il est possible de décharger le grain sur une bande sans fin qui le porte directement au grenier (fig. 247); mais cette installation qui paraît simple est rarement pratique. Le plus souvent, le blé est transvasé dans une allège qui va à l'élévateur placé à terre.

Elévateur Poulsom. — L'élévateur Poulsom (fig. 247) est employé par le navire lui-même auquel le porte un chaland. Le bâtiment, par son treuil et des poulies disposées dans la mâture, le prend et le pose sur son panneau.

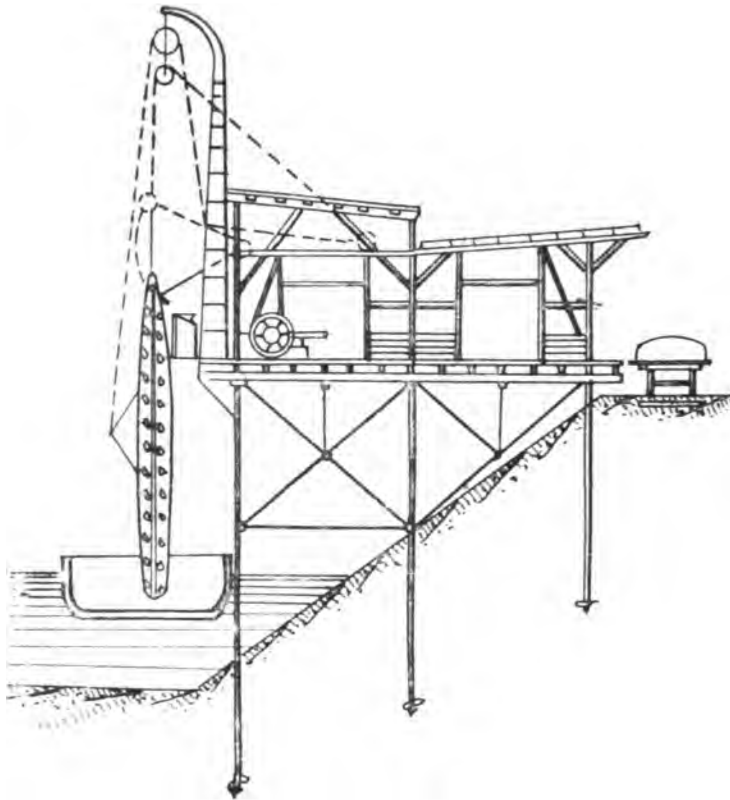
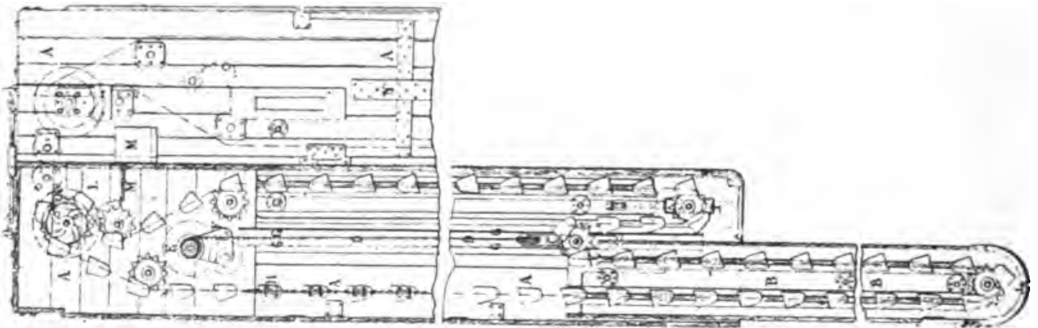


Fig. 246. — Brómo. — Elévateur volant.



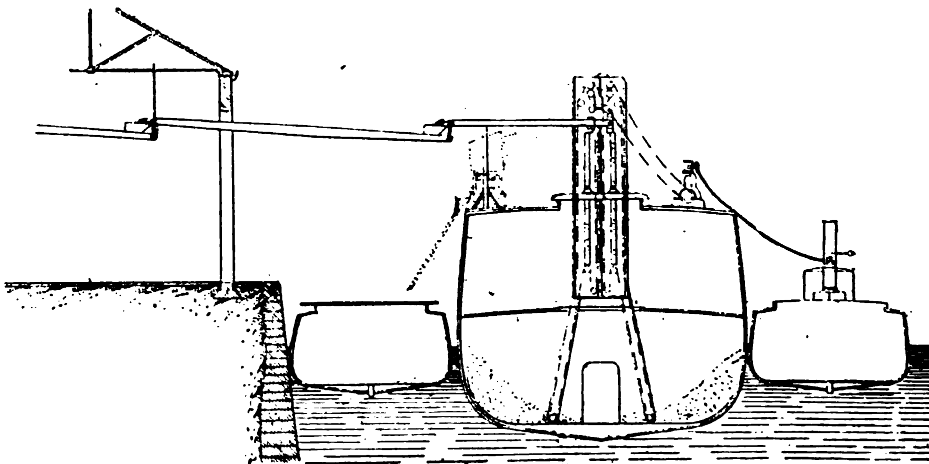


Fig 247. — Elévateur Poulsom.

L'appareil se compose d'une noria double partant du même échafaudage et dont les branches s'écartent au fond pour puiser chacune sur un côté de la cale qui reste ainsi uniformément lestée. Les chaînes passent dans des tubes télescopiques, qui s'allongent à mesure de la vidange.

Le blé est comme ci-dessus déchargé à terre par une courroie sans fin ou dans des allèges. Le produit horaire est de 60 tonnes.

Il y a de nombreuses modifications de ces systèmes, qu'il est impossible de passer en revue, d'autant qu'il paraît probable que le dernier procédé, celui de l'aspiration par le vide, semble devoir les remplacer.

Élévateur Duckham.—Ce procédé a d'abord été appliqué au Millwall dock de Londres. En principe, il se compose d'un réservoir étanche où se fait le vide et qui communique par des tuyaux flexibles avec la cale du bateau en déchargement. Un manchon régulateur (fig. 248) recouvre la crépine d'aspiration du tuyau et proportionne la quantité de grain élevé. Celui-ci est aspiré jusqu'au réservoir, placé assez haut pour que l'écoulement puisse avoir lieu dans des tubes par un distributeur automatique.

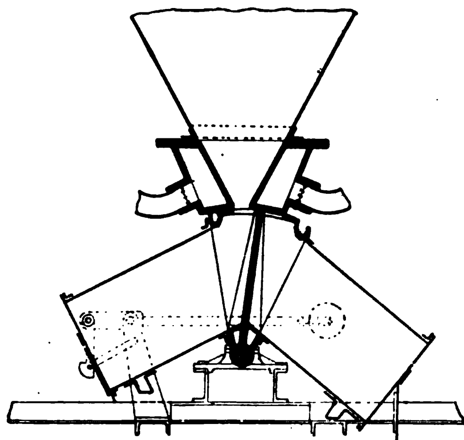
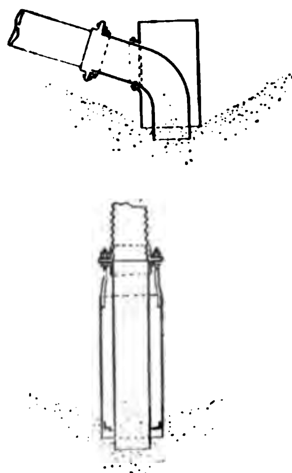


Fig. 248 — Distributeur automatique.



Manchon régulateur.

Un chaland (fig. 249) porte six de ces appareils ; le grain en sortant du distributeur est pesé et ensaché ou distribué en vrac.

Il existe pour charger les navires une autre disposition qui permet la pose de l'appareil au fond du chaland. Le distributeur automatique

est enfermé dans un autre réservoir O (fig. 250) et y vide le grain, que l'air comprimé, arrivant par un tuyau repousse par un autre à la cale du navire. La même installation peut servir au transport dans les magasins (fig. 251).

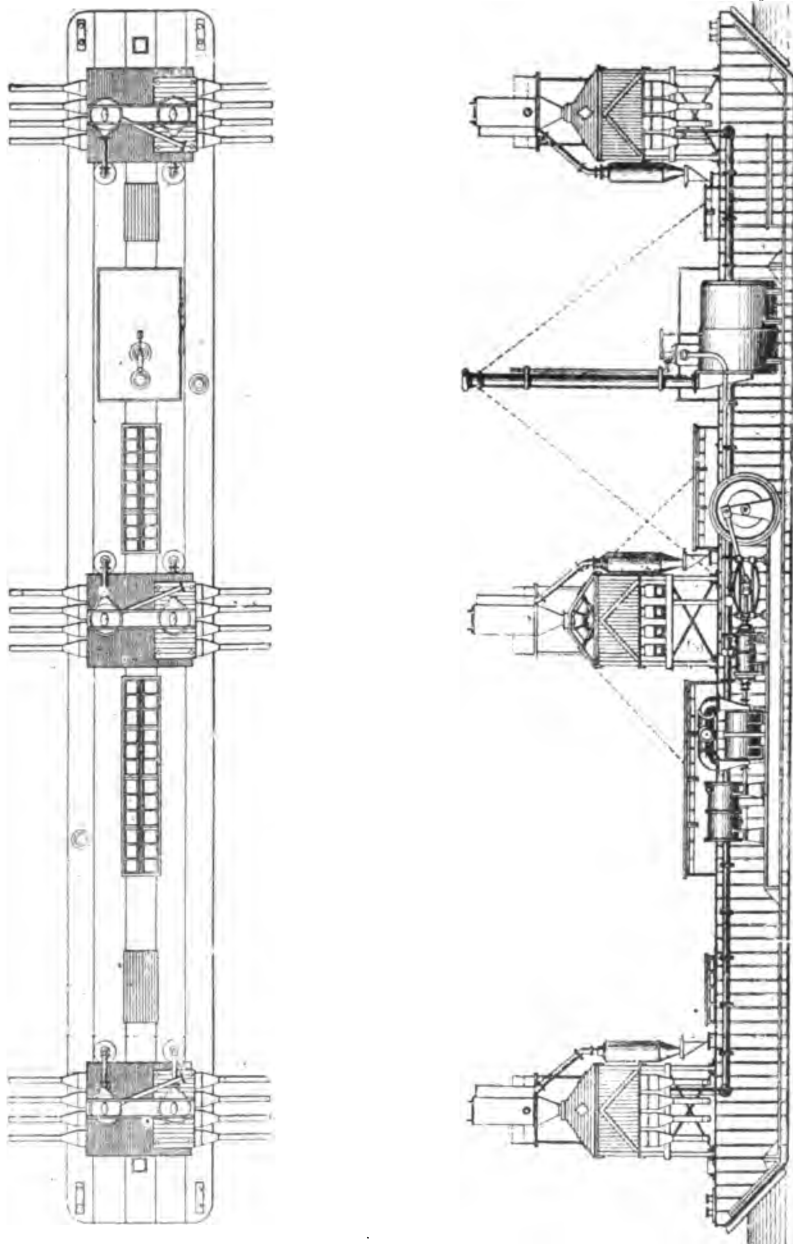


Fig. 249.

Par ce procédé on a pu transporter des grains à 250 mètres de dis-

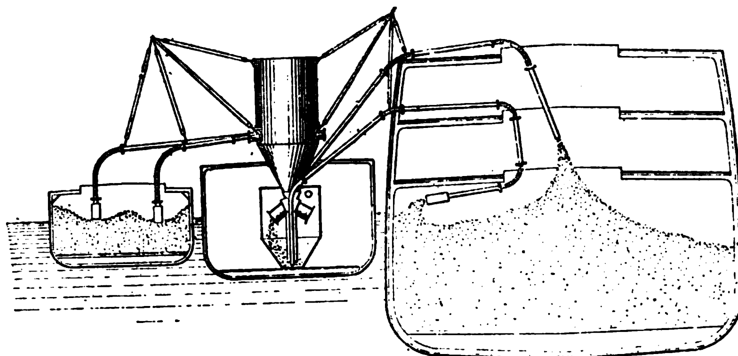


Fig. 250.

tance en l'élevant de 25 mètres. Le rendement atteint 180 tonnes à l'heure.

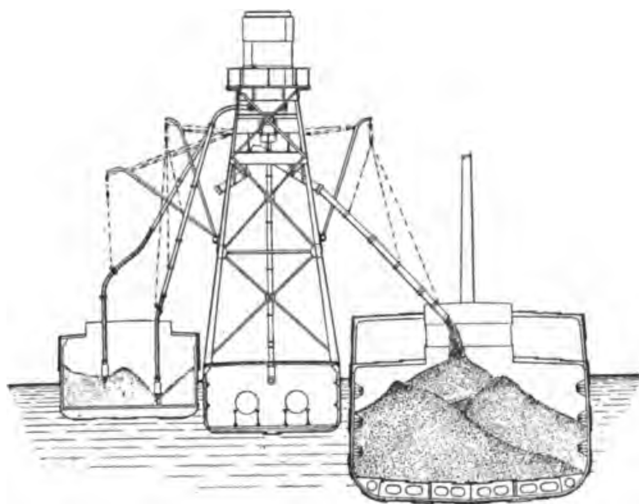


Fig. 252.

La figure 252 est la disposition adoptée sur le Danube.

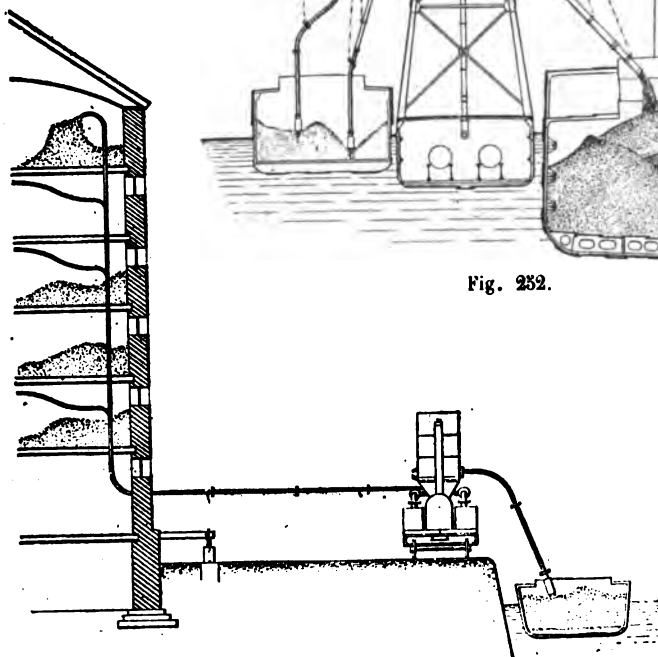


Fig. 251.

Magasins. — Un type de magasin ordinaire est celui du Waterloo dock de Liverpool. Il comprend trois corps d'une longueur totale de 453 mètres, de 21,35 *m* de largeur et de 25 mètres de hauteur à la corniche. La largeur est partagée en deux par un mur de refend longitudinal.

Il y a cinq étages et leur surface utile totale est de 4 550 mètres carrés. La machinerie est placée sur une plateforme de 7,25 *m* de largeur, disposée au-dessus du dernier étage sur toute la longueur des bâtiments.

Silos. — La section droite des compartiments ou silos peut être circulaire, carrée ou hexagonale. La première forme est celle qui demande le moins de matériaux, mais elle n'est pratique qu'avec la tôle ; en tout cas elle fait perdre beaucoup d'espace ; les autres évitent cet inconvénient, et des deux c'est l'hexagone qui est préféré ; il exige plus de main-d'œuvre, mais moins de matières.

Le sommet du puits est ouvert. La base est parfois une cloison plane forée de plusieurs trous par où s'opère la vidange, parfois un tronc de pyramide renversé dont la pointe est également percée. La fermeture dans les deux cas s'opère par une glissière.

Matériaux. — *Bois.* — En Amérique et en Russie la plupart des silos sont construits en charpente ; le magasin se compose d'une carcasse formée de montants et d'entretoises et supportant un bordage en planches assemblées ; très souvent l'ensemble est constitué par des madriers superposés, de 15×5 *cm* assemblés à mi-bois et cloués ensemble. Ce dernier système est adopté surtout quand la section est carrée.

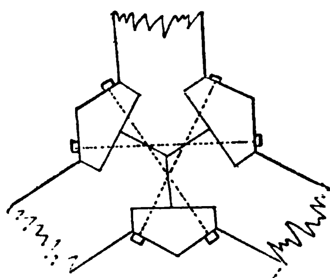


Fig. 253.

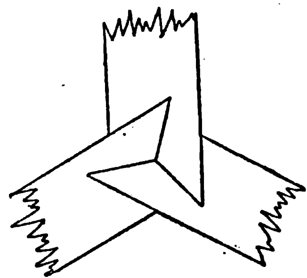


Fig. 254.

Les planches et madriers peuvent d'ailleurs servir aussi à la construction des réservoirs à section hexagonale ; ils sont alors réunis selon

l'un des assemblages représentés par les figures 253 et 254. Il faut remarquer que dans le dernier, l'une des pièces doit être encastrée de haut en bas entre les deux autres.

Les constructions en charpente offrent de nombreux avantages : bon marché, légèreté et par conséquent facilité de fondations ; les parois ne conduisant pas la chaleur et étant hygroscopiques, la conservation des grains est mieux assurée ; en tout cas, l'échauffement dans un des puits ne se communique pas aux autres. Son inconvénient majeur est l'inflammabilité.

Briques. — La brique au contraire est à l'abri du feu et possède la plupart des avantages du bois, sauf l'hygroscopicité ; mais elle exige des cloisons plus épaisses et une grande place est en conséquence perdue.

En Angleterre, la brique est obligatoire pour les murs extérieurs.

Fer. — Le fer a souvent été essayé dans la construction des silos, sous forme de tôle ou d'anneaux superposés. Pour perdre le moins de place possible, on dispose parfois ces anneaux empiétant les uns sur les autres. En tout cas, le fer a l'inconvénient de s'échauffer aisément et de rouiller plus facilement le blé qui se trouve contre les parois.

Néanmoins les chances d'incendie sont tellement à craindre dans les constructions en bois, de Buffalo par exemple, au milieu du dédale des tuyaux de conduite des grains qui sont décrits ci-après, parmi l'atmosphère de poussières qui se dégagent des grains, que la Great Northern Company de cette ville a récemment construit un magasin de 120×36 mètres, tout en briques et tôle d'acier.

Il se compose de 30 silos de 11,60 *m* et 18 de 4,70 *m* de diamètre avec une hauteur commune de 21,35 *m*. Dix-huit puits de 2,75 *m* de diamètre et 18,30 *m* de hauteur complètent l'ensemble dont la contenance dépasse un million de mètres cubes.

Trois élévateurs en acier, pouvant enlever chacun plus de 700 mètres cubes à l'heure alimentent le magasin ; ils sont mobiles et peuvent être amenés devant l'une quelconque des ouvertures par où s'emmagasinent les grains.

Béton armé. — Le béton armé a encore été peu appliqué à la division des magasins en silos (Braila) ; mais il est évident que son emploi est tout indiqué ; sauf l'hygroscopicité, il réunit tous les avantages et

la qualité qui lui manque est celle dont il est plus facile de se passer grâce à un bon brassage des grains.

Dimensions. — La largeur des silos est toujours assez faible, d'abord à cause de la résistance, ensuite à cause de la façon dont s'effectue le commerce des grains emmagasinés dans les silos.

Il est des producteurs qui n'expédient que des quantités restreintes; il est impossible pourtant de leur attribuer un compartiment qui serait à peu près vide. Les entrepositaires, très habitués à la qualité des céréales, les classent d'après des numéros identiques à des types officiellement reconnus. Dans ces conditions, la valeur du grain, étant celle que le cours du jour attribue à tel numéro, il n'y a aucun inconvénient à ce que les produits de plusieurs propriétaires soient mélangés dans le même silo qui peut ainsi être rempli.

Pourtant, certains numéros pourraient ne pas suffire à former la contenance d'un trop grand puits; il y a donc intérêt à ne donner à ceux-ci qu'une largeur limitée, excepté dans les pays de production intense.

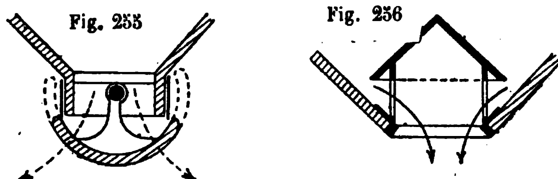
La largeur de 5 mètres est presque un maximum ; au-dessus les puits en charpente sont consolidés par des tirants internes en acier rond de 20 *mm* de diamètre environ.

Vidange des silos. — Il est rare que les silos se vident directement; mais une opération très fréquente est le passage d'un puits dans un autre, afin de refroidir le blé et de le débarrasser des insectes. D'autre part la vidange s'opère en ramenant le grain à l'élévateur, qui l'envoie où il est nécessaire. Dans tous les cas, on le déverse soit par un tuyau incliné, soit sur une courroie qui le porte au-dessous de l'élévateur.

Il faut donc que la base du silo soit à une certaine hauteur au-dessus du sol. Les compartiments en charpente sont supportés par des piliers ; les maçonneries de briques reposent sur une voûte. Tout cet ensemble doit être fondé solidement et être rendu, autant que possible, indépendant des murs d'enceinte.

Fermeture des orifices. — Le poussée des grains sur la glissière inférieure qui est métallique, fer ou acier, en rend la manœuvre difficile ; la forme en arc de cercle (fig. 255) est très avantageuse, il faut peu d'effort pour déplacer ce tiroir courbe d'un côté ou d'autre.

M. Britton recommande la disposition représentée par la figure 256; la glissière peut alors être plane; le chapeau triangulaire qui recouvre l'orifice supporte la majeure partie de la pression.



Fermeture inférieure des silos.

Dispositions générales. — Les silos présentent d'autant plus d'avantages qu'ils sont plus élevés ; la moyenne de leur hauteur varie de 12 à 25 mètres. Le magasin est de plus surmonté d'une lanterne ou coupole où aboutit l'extrémité supérieure de l'élévateur, qui déverse les grains dans une trémie d'où il sort pour passer dans une balance automatique dont la pesée est généralement d'une tonne à la fois. La trémie est assez grande pour contenir la charge qui lui arrive durant l'intervalle de deux pesées.

De la balance le grain passe à l'étage inférieur par un tuyau en planches, *spout*. A partir de ce moment il est transporté aux différents points où il doit être emmagasiné, selon deux systèmes différents.

En Angleterre, le grain tombe du premier spout sur une large courroie sans fin horizontale qui tourne sur des poulies ; c'est cette bande qui sert de transporteur. Ce procédé, usité d'abord au Waterloo Dock, à l'avantage de permettre de conduire le blé aussi loin qu'on le veut. En Amérique, la courroie se rencontre plus rarement ; la charge est transportée par des spouts plus ou moins inclinés et de longueurs variables. Malgré tout, ils ne peuvent conduire bien loin ; on remédie à cet inconvénient par l'emploi d'élévateurs assez rapprochés pour n'avoir à alimenter qu'une zone restreinte. A Buffalo on ne trouve que ce système et l'enchevêtrement des spouts est considérable.

A l'élévateur incombustible, la majeure partie des transports s'exécute par des spouts ; mais deux grandes bandes de 1,50 *m* de largeur, placées au-dessus des silos, les alimentent aussi à raison de 1 500 mètres cubes par heure.

Courroies. — Les courroies sont en caoutchouc et ont de 40 *cm* à un mètre de largeur. Elles sont quelquefois planes et néanmoins les

grains s'assemblent assez bien vers le milieu et tombent fort peu. Cependant on leur donne le plus souvent la forme canaliculée par l'emploi de deux cylindres-poulies inclinés l'un vers l'autre (fig. 257) ou mieux de trois, dont un horizontal et deux obliques.

Dans tous les cas le brin de retour n'est soutenu que par un rouleau droit.

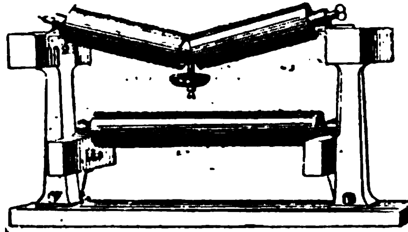


Fig. 257.

Le mouvement est transmis aux deux poulies extrêmes, qui maintiennent la bande bien tendue. La vitesse est de 3 à 4 mètres par seconde ; le débit, selon la largeur, est de 80 à 800 mètres cubes à l'heure.

Le passage du grain d'un étage à l'autre se fait par spouts ; quand les courroies servent au transport horizontal elles existent à chaque étage. Les tuyaux ont en général comme largeur celle des planches du commerce ; quelquefois leurs côtés sont formés de deux planches.

Au Waterloo dock le nombre des spouts qui servent au passage des grains à travers les planches est de cinquante-six. La longueur totale des bandes sans fin est de 3550 mètres ; elles ne marchent qu'à 2,50 *m* par seconde et transportent 30 tonnes à l'heure.

Délivrance des grains. — Les grains sont distribués par des canaux centraux aux wagons récepteurs qui pénètrent au rez-de-chaussée des magasins. Aux navires, ils sont transmis par des conduits latéraux qui partent de la base des murs à chaque étage ; ils sont chargés par les spouts.

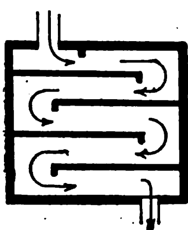
Accessoires. — En général, dans les silos, le grain est vidé d'un compartiment, puis ramené à l'étage supérieur, pesé à nouveau avant d'être envoyé aux spouts de chargement des navires.

Les courroies sans fin renforcées peuvent servir au transport même

du blé en sacs ; quand on a une pareille manutention à exercer, les magasins sont encore munis de treuils, de monte-charges, etc.

Nettoyage. — Sur le passage des grains, par exemple au sortir de la balance, des tarares ou toute autre machine peuvent être disposés pour le nettoyage.

Les poussières qui se répandent dans l'atmosphère sont dangereuses par leur inflammabilité et doivent être recueillies pour être brûlées. Le



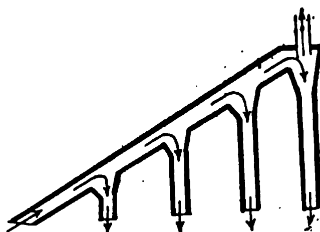


Fig. 258. Collecteurs de poussières. Fig. 259.

réservoir à chicanes (fig. 258) à travers lequel l'air qui sort des tarares est poussé par un ventilateur s'explique de lui-même. Dans l'appareil représenté par la figure 259, les poussières se précipitent par les divers tuyaux verticaux suivant leur grosseur, les plus lourdes les premières. Enfin l'appareil « Cyclone » (fig. 260) produit un tourbillon qui entraîne les impuretés à la base tandis que l'air pur sort par l'orifice supérieur.

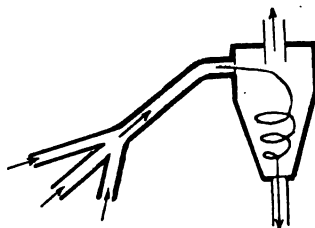


Fig. 260. — Collecteur de poussière « Cyclone ».

Surveillance. — Des indicateurs spéciaux font connaître le silo en manutention, la hauteur du grain dans le compartiment, etc. Des sondes permettent de prendre à toute hauteur des échantillons, non seulement pour vérifier la qualité, mais aussi l'échauffement possible.

Magasins mobiles. — A Millwall dock, en outre des magasins spéciaux, il existe des wagons ayant comme dimensions $5 \times 2{,}50 \times 2$ mètres et où le grain est temporairement emmagasiné ; ils sont placés sur des voies assez élevées pour que la vidange puisse se faire dans d'autres vagons.

Situation des magasins. — La situation des magasins dépendra beaucoup des circonstances locales. Si le quai est libre et ne doit ser-

vir à aucun autre usage, l'édifice sera élevé sur l'arête même du quai. Les bateaux s'amarreront contre le mur et un élévateur mobile y descendra ou bien un spout y sera dirigé, selon les circonstances. Les vagons arriveront de l'autre côté.

Si le magasin est en arrière, l'élévateur sera placé sur le bord du quai et le grain sera transporté par une bande sans fin dans un tube situé à une certaine hauteur on sous un tunnel. Les exemples cités ci-après feront bien comprendre ces dispositions.

Moteurs. — En Europe, dans les grands ports pourvus de l'outillage hydraulique, les appareils funiculaires donnent également le mouvement aux machines des magasins. A Waterloo dock, la longueur des tuyaux qui y amènent l'eau sous pression est de 2550 mètres.

En Amérique, le moteur est généralement à vapeur et à grande vitesse; il est installé loin des magasins et l'énergie est transmise par des cordes de Manille, en général au nombre de huit, à un arbre situé à l'une des extrémités des magasins et qui commande tous les autres engins.

A l'élévateur incombustible de Buffalo, c'est l'électricité qui est la source d'énergie; elle provient de l'usine installée sur la dérivation du Niagara.

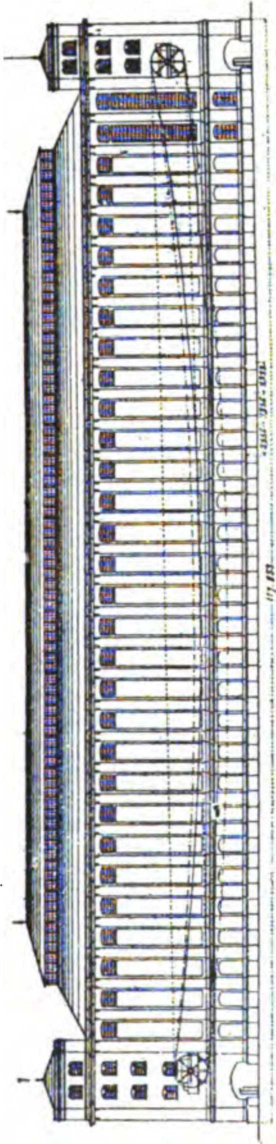
Silos de Braïla, Roumanie. — Le long d'un bassin relié au Danube et à 33 mètres du quai existent deux magasins, séparés par le bâtiment des machines. Ils mesurent 120 mètres sur 30 avec 18 mètres de hauteur et peuvent emmagasiner 25 000 tonnes (fig. 261).

Chaque magasin est séparé par des murs de refend transversaux en cinq compartiments, dont ceux du bout sont occupés par les machines, les trois autres contenant 336 puits construits en ciment armé; ils sont hexagonaux, de 2,50 à 3,50 *m* de diamètre, sauf ceux qui s'appuient contre les murs et sont pentagonaux; 185 contiennent 100 tonnes, les autres 50 tonnes de grains.

Aux quatre angles du magasin sont installés des élévateurs où se déversent les grains amenés par vagons; si les céréales arrivent par bateaux, un élévateur mobile les jette également dans ces quatre élévateurs fixes.

Le grain est reçu sous les toits par trois bandes sans fin en coton caoutchouté, qui le déverse sur des chariots mobiles servant au chargement des puits.

Deux élévateurs intérieurs desservent les appareils de nettoyage, et deux autres extérieurs mobiles servent au chargement des navires.



Coupe des magasins.

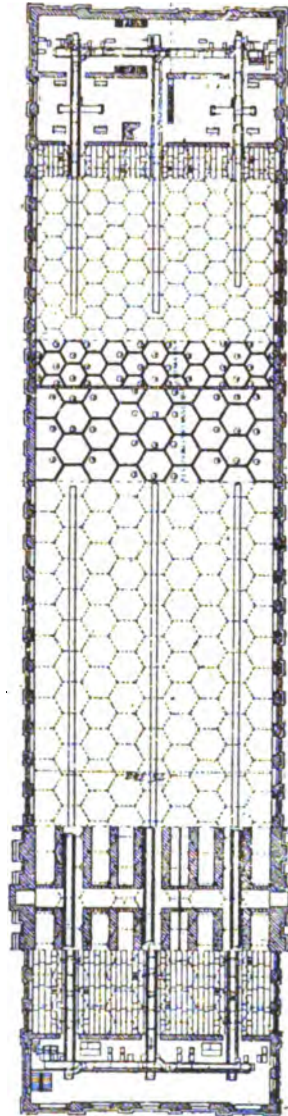


Fig. 261. Braïla. — Plan des silos.

La manutention se fait comme dans les autres magasins. On arrive à emmagasiner 600 tonnes par heure et à charger 300 tonnes en même temps sur les navires. L'économie réalisée sur les anciennes manutentions a été de 50 0/0.

La machine à vapeur qui donne le mouvement général est de 500 chevaux.

Grenier d'Alexandra docks, Liverpool.— Le grenier mesure 73 × 53 mètres; il contient 250 silos hexagonaux en briques, de 3,66 *m* de diamètre et 24,50 *m* de hauteur; entre les parois, pour ne pas perdre de place, il n'existe que des demi-silos. La capacité totale est de 400000 hectolitres. L'épaisseur des murs des silos est de 35 *cm* jusqu'à 8 mètres de hauteur, et de 23 *cm* au-dessus. Sur trois côtés sont des appentis pour le pesage, la mise en sacs et la livraison (fig. 262 et suivantes).

Le grain est tiré par quatre élévateurs des bateaux amarrés aux quais des bassins; il est porté au grenier sur des bandes circulant dans des tunnels sous le quai. Les élévateurs du dock n° 1 peuvent manipuler 75 tonnes à l'heure. (On compte que 100 hectolitres pèsent 14 tonnes). Ceux du dock n° 2 en retirent 100 tonnes par heure.

Le grain, élevé à 13 mètres de hauteur, est distribué dans une trémie A, d'où il est encore ramené par un second élévateur dans la trémie B située à 10 mètres au-dessus; il tombe dans la troisième trémie C, qui le pèse

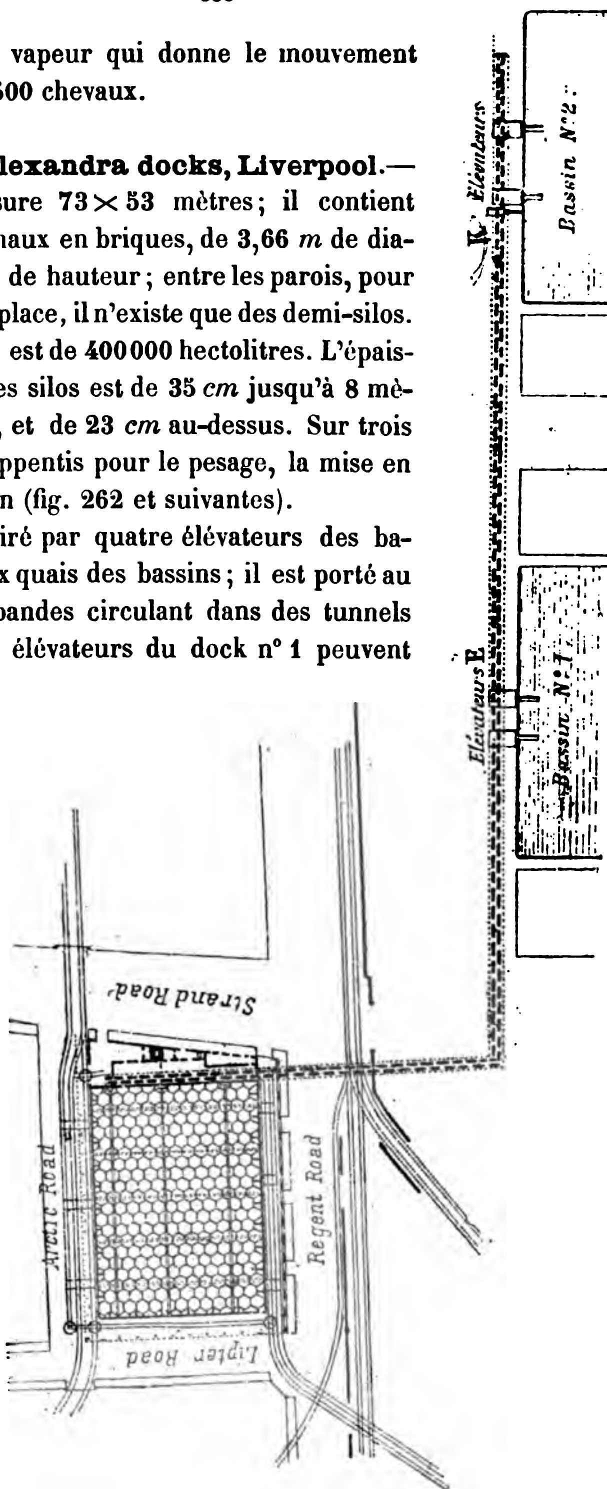


Fig. 262. — Alexandra docks, Grenier. Plan de l'ensemble.

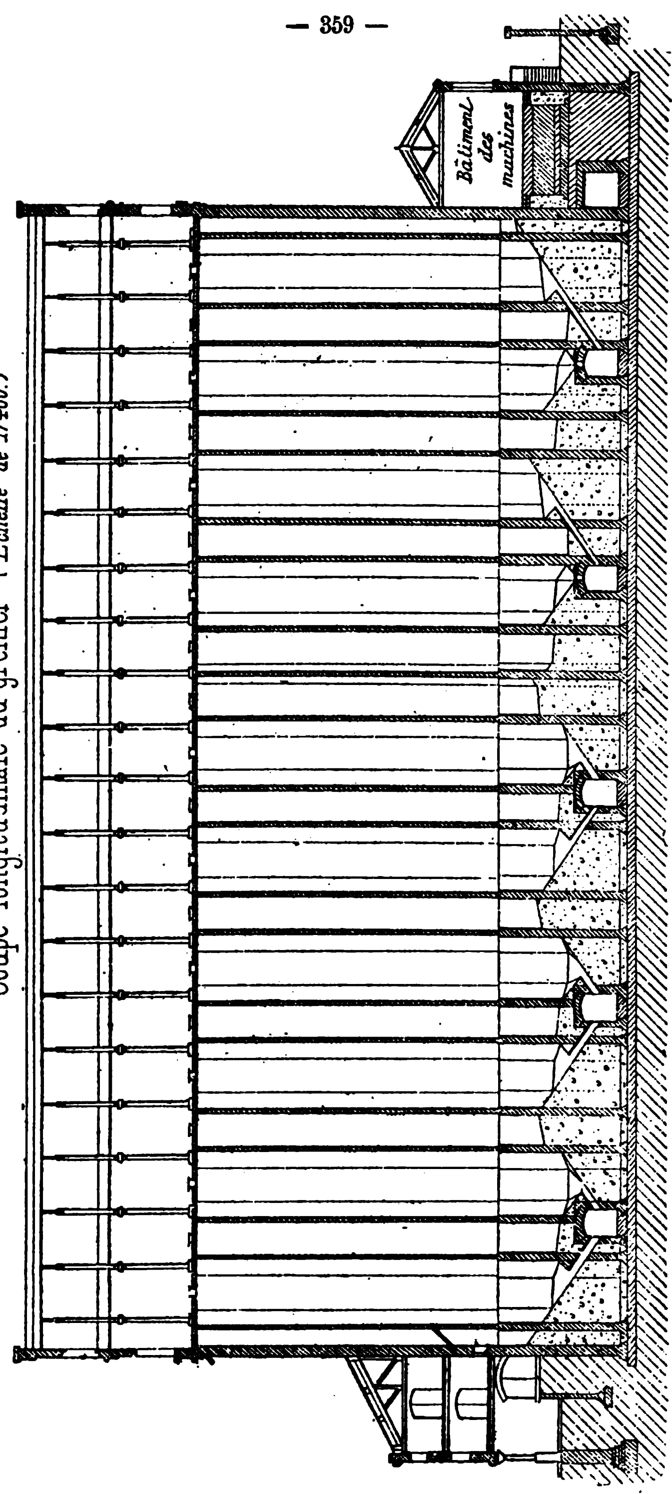

Coupe longitudinale du grenier (Echelle de 1/480.)
Bâtiment des machines

Fig. 263.

par deux tonnes à la fois et il s'écoule dans un réservoir D qui alimente les bandes transporteuses.

Si l'on veut transporter le grain directement dans les appentis de distribution, on l'écoule de la caisse D par des couloirs sur des courroies spéciales portées par des chevalets.

Mais si l'on veut l'emmagasiner, il est enlevé par des bandes

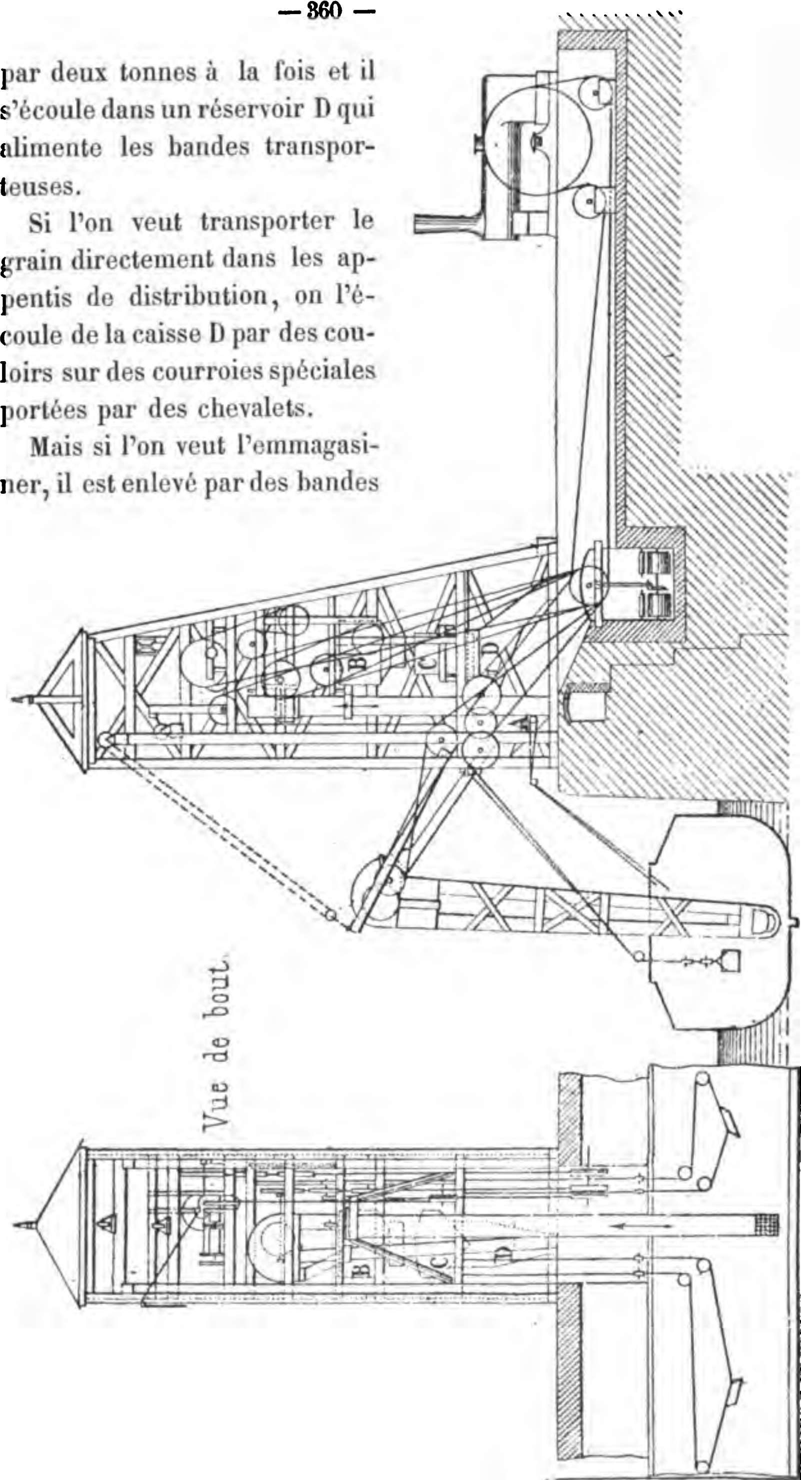


Fig. 264. — Installation générale. Coupe verticale.

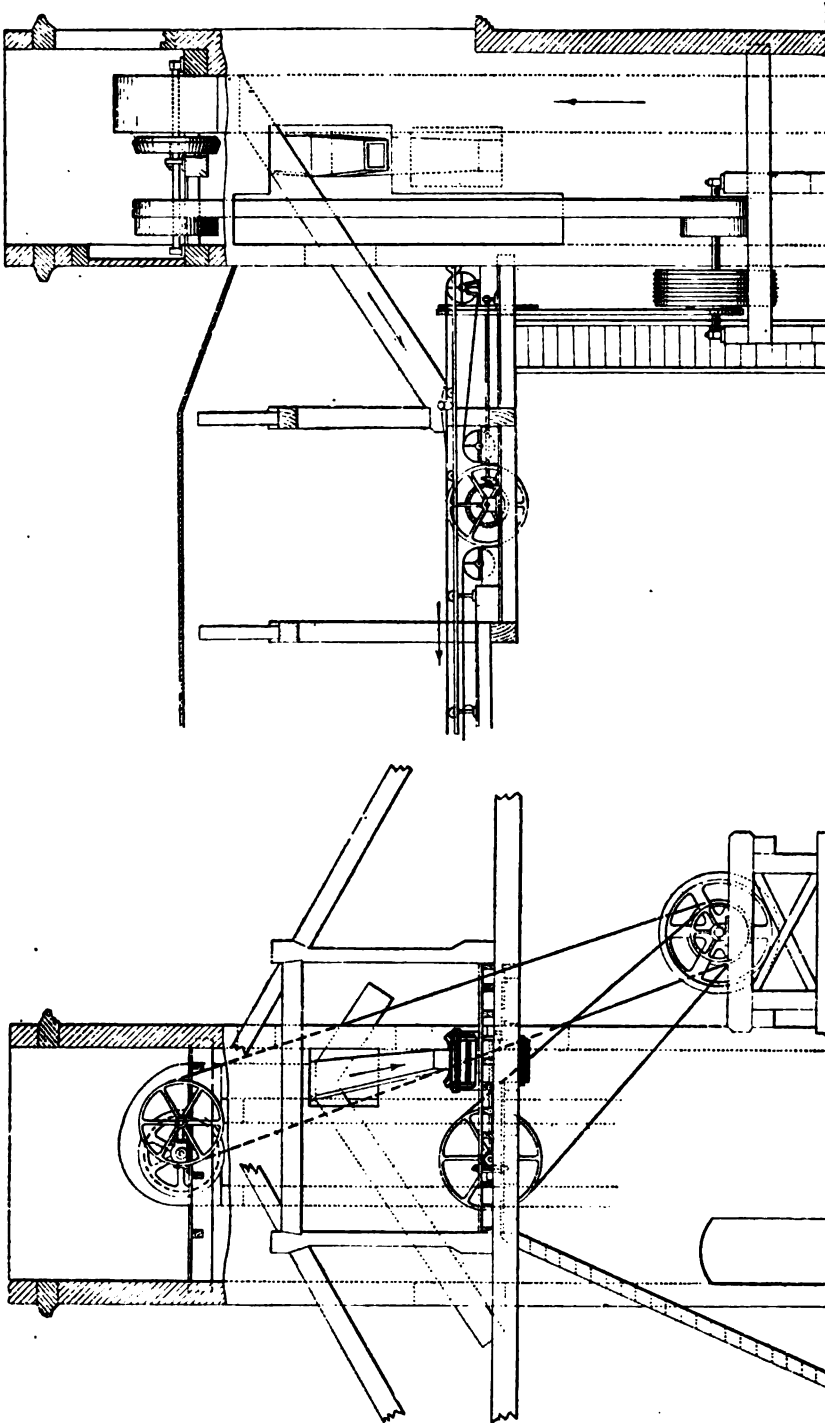


Fig. 265. — Coupes verticales de l'élévateur.

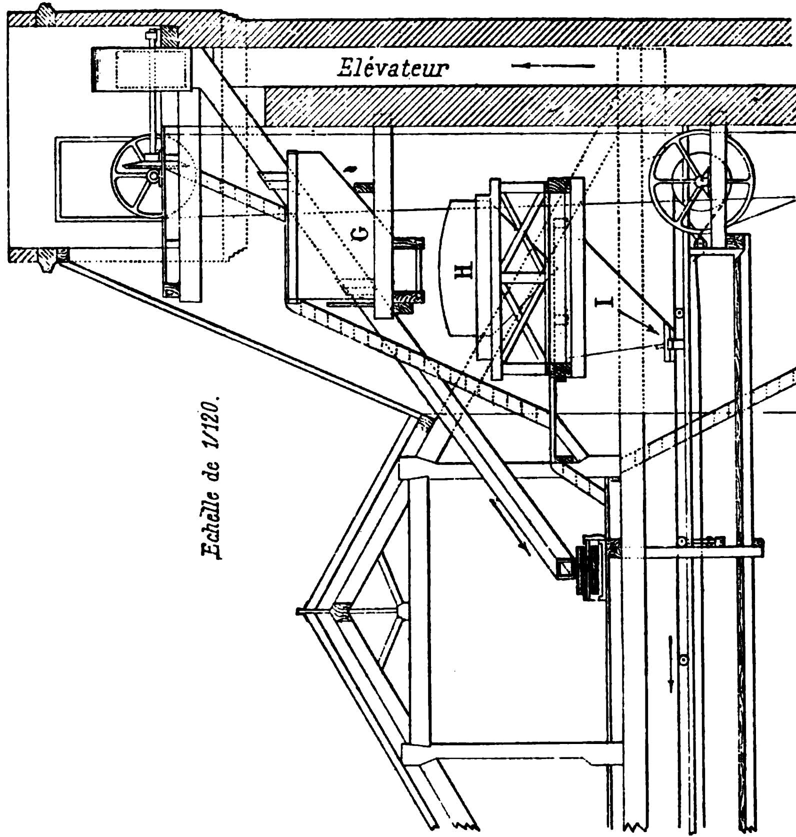


Fig. 267. — Elévateur. — Coupe verticale.

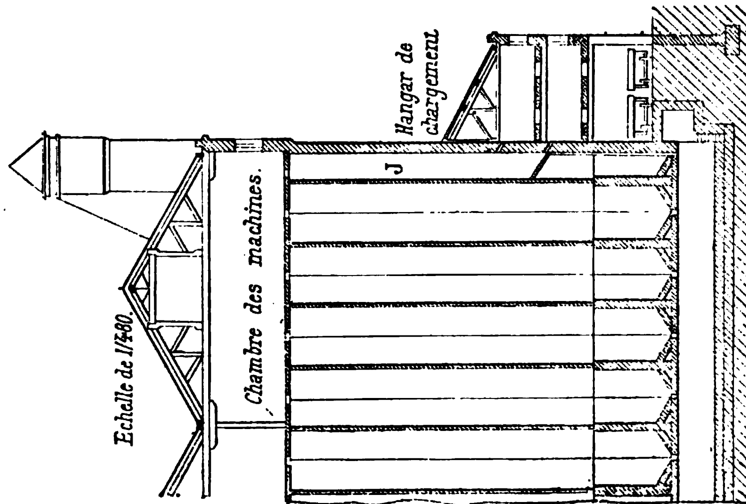


Fig. 266. — Coupe transversale d'un magasin.

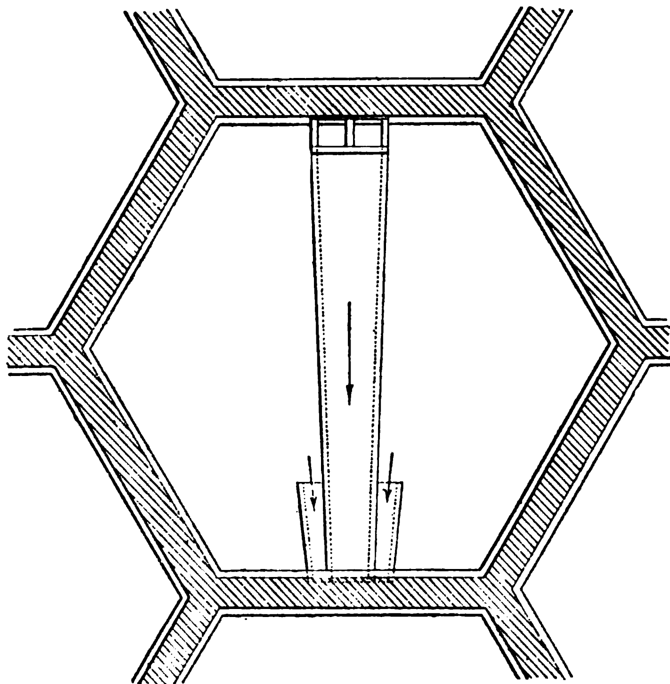


Fig. 268. — Coupe transversale d'un silo.

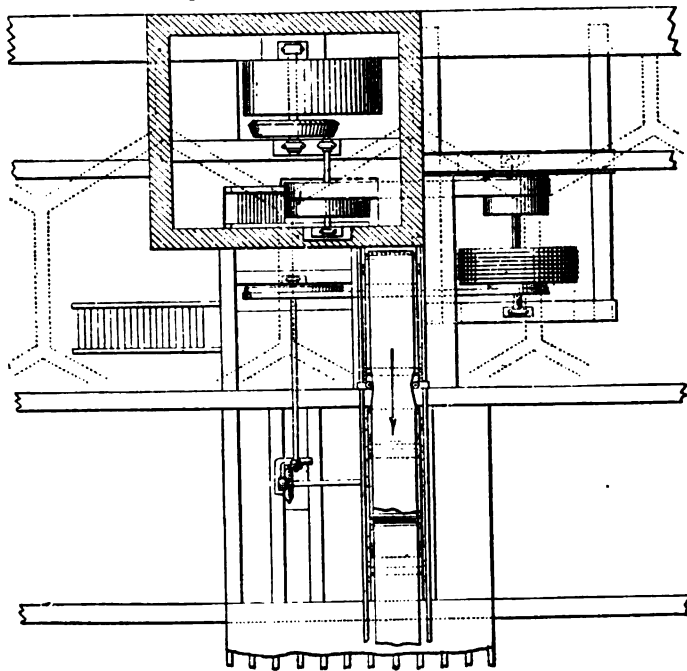


Fig. 269. — Plan de l'élévateur.

transporteuses de 70 *cm* de largeur (depuis le dock n° 2 ; et de 40 *cm* seulement entre les deux docks) et amené aux élévateurs principaux qui

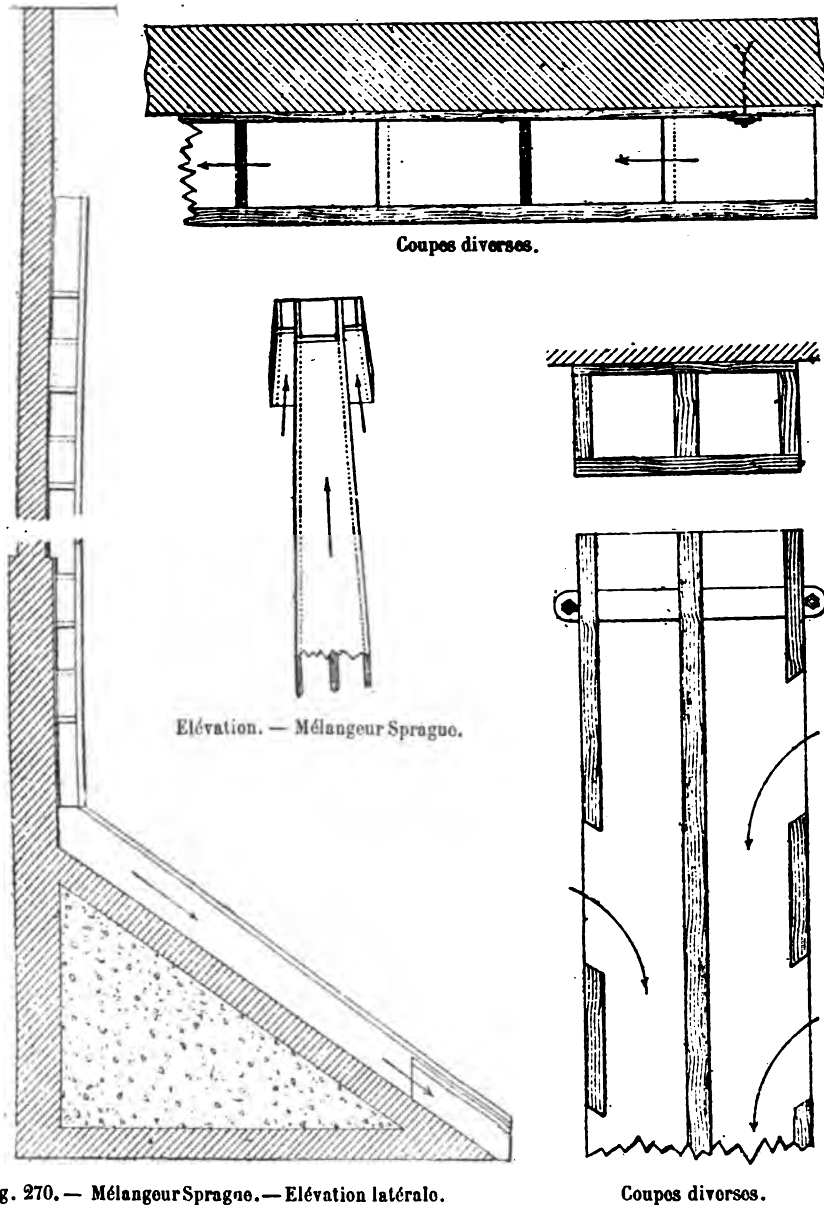


Fig. 270. — Mélangeur Spragne. — Elévation latéralo. Coupes diversos.

l'élèvent à 42 mètres de hauteur et le rejettent sur des courroies d'où il peut être écoulé par des couloirs dans les silos.

Le grain sortant des silos est reçu sur des bandes qui le transportent à des élévateurs de livraison, où il est encore pesé, mis en sac et livré aux vagons.

La distance parcourue du dock n° 1 au grenier est de 500 mètres; la largeur des bandes transporteuses est de près de 5 kilomètres. Les bandes horizontales marchent à la vitesse de 3 mètres par seconde; les élévateurs à 2,60 *m*.

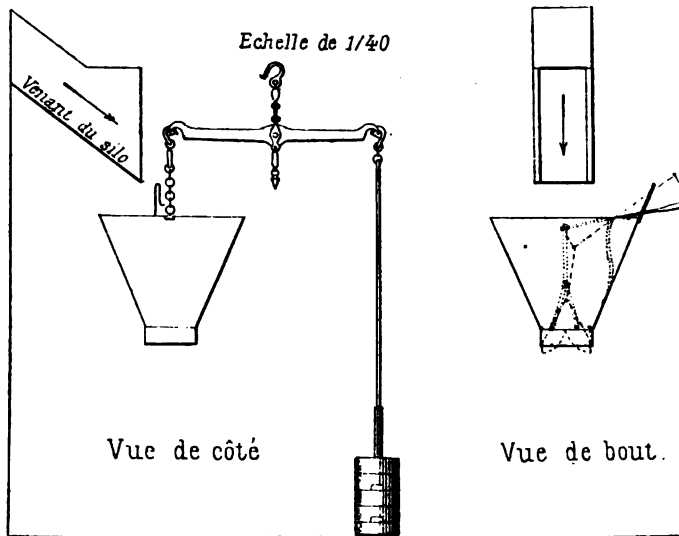


Fig. 271. — Bascule à peser les sacs.

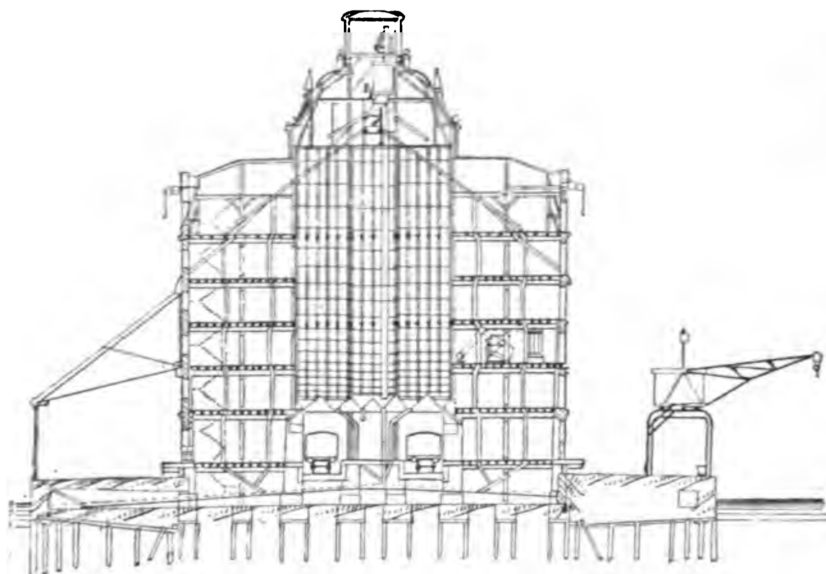
Le grain en tombant dans les silos laisse flotter et se déposer à la partie supérieure les pailles légères; celui du fond est donc plus propre et les dernières portions sont de qualité inférieure; on égalise l'ensemble en faisant tomber le grain dans le mélangeur Sprague (fig. 270), simple tuyau vertical en bois percé de trous de distance en distance, qui font que l'écoulement est égal à toute hauteur et que le mélange s'opère pendant la chute.

Copenhague (fig. 272). — Le magasin aux silos a 50×31 mètres; il est, dans la largeur, divisé en trois parties principales dont les deux latérales contiennent les magasins à greniers ; la médiane, large de 12 mètres, est traversée par deux voies ferrées.

Sur ces voies, à partir du premier étage sont établis 36 silos de 20,40 *m* de hauteur.

Du bateau le grain est versé par une rigole dans des entonnoirs

aboutissant au canal établi le long des murs du quai, au-dessous de 12



Coupe transversale.

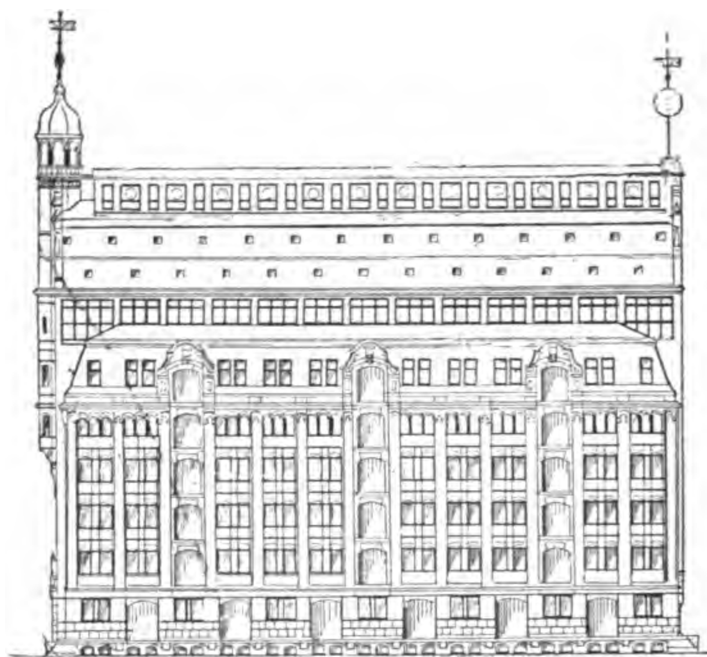


Fig. 272. — Magasin de Copenhague. — Elévation.

courroies, six de chaque côté, qui le transportent dans la cave ; là les

ascenseurs le reprennent, le portent à la coupole ; il est ensuite pesé et distribué aux silos par une courroie.

Silos de Gênes. — Nous devons à l'obligeance de MM. les ingénieurs Carissimo, Crotti et de Cristoforis les renseignements suivants sur la belle installation de silos qu'ils ont faite à Gênes (pl. IX).

Le magasin s'étend devant la douane, sur le quai S. Limbania, entre les ponts Parodi et F. Guglielmo. Sa longueur est de 211 mètres, sa largeur de 24,65 *m*. Il est divisé (fig. 273) en silos rectangulaires de 3 mètres sur 4.

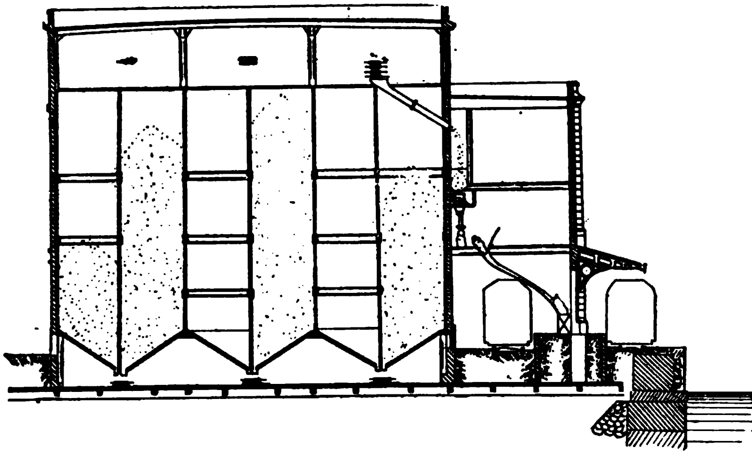


Fig. 273. — Silos de Gênes. — Coupe transversale.

Les navires chargés de grains s'amarrent le long d'une passerelle en fer, dont les figures de la planche IX font bien connaître la disposition. Elle est portée sur six piles auxquelles correspondent six aspirateurs Duckham qui prennent le grain dans la cale des bâtiments et l'envoient au magasin.

Les tuyaux aspirateurs se terminent chacun à l'une des piles, par deux tubes plus petits (diamètre = 20 *cm*) reliés par des tuyaux de caoutchouc à des crépines aspirantes. Ces tubes sont manœuvrés par des palans fixés sur les piles et peuvent ainsi descendre les crépines dans la cale.

L'autre extrémité des tuyaux d'aspiration s'élève dans une tour qui domine la partie centrale du magasin et débouche dans des récipients

ou cylindres de tôle de 3 mètres de diamètre et 5 mètres de hauteur, terminés inférieurement par une partie conique, munie d'une soupape Duckham qui permet la sortie du grain tout en évitant la rentrée de l'air.

Les récipients sont en communication, par leur fond supérieur, avec les pompes aspirantes. Celles-ci sont verticales, à deux cylindres à double effet, d'un mètre de diamètre. La course du piston est de 1,250 *m* et le nombre de tours est de 40 à la minute. Elles sont actionnées par un moteur compound de 125 chevaux.

Des récipients le grain tombe dans des balances, puis dans un distributeur central, d'où il est enfin réparti dans les silos comme d'habitude, par des courroies transporteuses de caoutchouc de 65 *cm* de diamètre. La figure 273 indique aussi le déchargement dans un wagon.

Il est inutile d'ajouter que tous les perfectionnements connus ont été adoptés et qu'il en existe plusieurs de nouveaux.

Organisation du commerce des grains à New-York. — Le grain est reçu à New-York par chemins de fer (71 %), par canaux et rivières (28 %) ou par mer.

En 1896, la quantité arrivée a dépassé 40 millions d'hectolitres.

Le grain arrivant par rail est manipulé par quatre grands élévateurs appartenant à des compagnies de chemins de fer et dont la capacité totale est de 200 000 mètres cubes.

Ces élévateurs ont pour type celui de l'Erié Railroad. C'est un long et étroit bâtiment, traversé dans sa longueur par deux voies ferrées sur chacune desquelles peuvent se loger dix wagons. Les deux wagons opposés sur chaque ligne jettent leur grain dans la trémie d'une des dix norias disposées entre les voies et qui le transportent à l'étage supérieur.

Trois hommes déchargent un wagon contenant 36 mètres cubes en 25 minutes.

La manipulation se continue comme d'habitude. Le transport intérieur se fait par tuyaux (spouts). Elle s'opère sur 7 000 mètres cubes par jour.

Une particularité du commerce de New-York est, comme on le sait, que les gares de chemins de fer ne sont pas dans la ville, mais sur la rive opposée, à Jersey City. C'est donc là que se déchargent les grains. Une grande partie est emmagasinée à Brooklyn, de l'autre côté de l'East River.

Comme en définitive c'est de New-York que partent les cargaisons, on voit que les points de réception, d'emmagasinage et d'expédition sont très éloignés les uns des autres. Une partie seulement du grain va directement de Jersey City à New-York par des allèges, d'où il est transbordé dans les navires au moyen d'élévateurs flottants. On avait aussi des élévateurs qui chargeaient directement les navires à New-Jersey; mais un conflit d'intérêts les a fait abandonner. D'ailleurs les navires des services réguliers préfèrent voir venir à eux les élévateurs flottants.

Ceux-ci sont au nombre de vingt et chacun d'eux opère la manutention de 200 tonnes seulement en moyenne par jour, tandis qu'ils pourraient charger huit fois plus.

Frêt compris, le transport de la tonne de grain de Chicago à Liverpool coûte environ 19 francs.

On a pu à l'élévateur de Girard Point à Philadelphie charger quatre mille mètres cubes en 8 heures. Les élévateurs de New-York chargent ensemble 16 000 mètres cubes à l'heure.

Résistance des silos. — D'après une note de M. Wilfrid Airy nous indiquons comment on peut déterminer la pression que les grains exercent sur les parois des silos.

Entassés, ils se tiennent sous un talus naturel et exercent contre les parois qui les enserrent un frottement qui a été déterminé par des expériences et dont les diverses valeurs sont consignées dans le tableau suivant :

Matières	Poids du mètre cube non tassé	Coefficients de frottement				
		Grain sur grain	Grain sur planches brutes	Grain sur planches rabotées	Grain sur fer	Grain sur ciment
	k					
Blé	785	0,466	0,412	0,361	0,414	0,444
Orge . .	625	0,507	0,424	0,325	0,376	0,452
Avoine . . .	450	0,532	0,450	0,369	0,412	0,466
Maïs . . .	700	0,521	0,344	0,308	0,374	0,423
Fèves . . .	735	0,616	0,435	0,322	0,366	0,442
Pois. . . .	800	0,472	0,287	0,268	0,263	0,296
Vesces . . .	785	0,554	0,424	0,359	0,364	0,394
Graine de lin .	655	0,456	0,407	0,308	0,339	0,414

La pression sur la paroi latérale du silo est due à la masse en forme de coin ACE qui peut être considérée comme séparée de l'ensemble par un plan, dont l'inclinaison est variable (fig. 274 et 275).

Deux cas se présentent :

1° La profondeur du grain emmagasiné est peu considérable (fig. 274). Le plan de séparation AE qui détermine la pression maxima sur l'une des parois sort de la masse.

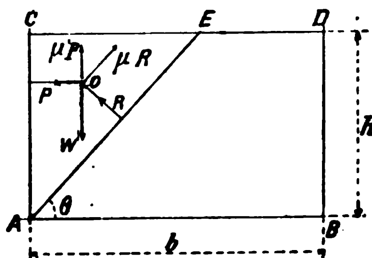


Fig. 274.

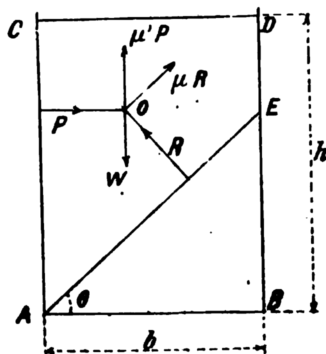


Fig. 275.

2° La profondeur est suffisante pour que le plan rencontre la paroi opposée dans la masse elle-même (fig. 275).

Les figures 274 et 275 représentent la coupe du silo ; la surface du grain est CD. O représente le centre de gravité de la masse ACE ; nous y supposerons appliquées les diverses forces qui agissent sur cette masse.

Soient :

μ, le coefficient de frottement des grains entre eux ;

μ' — — contre la paroi AC ;

h, la profondeur AC ;

b, la largeur AB ;

θ, l'angle variable de AE avec l'horizontale AB ;

γ, le poids du mètre cube de grains ;

W, le poids d'une tranche verticale d'un mètre de largeur de la masse ACE ;

P, la pression des grains sur une tranche verticale d'un mètre de largeur de la paroi projetée en AC ;

R, la pression de la masse ACE sur le plan AE ;

μ'P est le frottement entre le grain et la paroi AC ;

μR — des grains entre eux le long du plan AE ;

Premier cas. — Ces diverses forces sont dirigées comme l'indique la figure 274.

En les projetant sur AE, on a :

$$\mu R + P \cos\theta - W \sin\theta + \mu' P \sin\theta = 0$$

et en les projetant sur une perpendiculaire à AE.

$$R - P \sin\theta - W \cos\theta + \mu' P \cos = 0$$

On en tire P, et remplaçant W par sa valeur en fonction de γ, h et θ, il vient une expression dont la dérivée égalée à 0 donne le maximum de P.

La formule à laquelle on arrive est:

$$P = \gamma \frac{h^2}{2}\left[\frac{1}{\sqrt{\mu(\mu+\mu') + \sqrt{1+\mu^2}}}\right]^2 \qquad (1)$$

Deuxième cas. — Des calculs analogues aboutissent à la formule

$$P = \gamma \frac{b^2}{2}\left[\frac{\sqrt{\frac{2h}{b}(\mu+\mu') + (1-\mu\mu')} - \sqrt{1+\mu^2}}{\mu+\mu'}\right]^2 \qquad (2)$$

Ces formules conduisent à des résultats intéressants :

Considérons dans tout ce qui va suivre un silo carré de côté b.

Premier cas. — La pression sur les quatre faces est $4b$P, expression qui, mise dans l'équation (1), donne une relation montrant que dans des silos de différentes dimensions, où le rapport $\frac{h}{b}$ reste constant, la pression varie en raison de b^3. Il en est d'ailleurs de même pour le second cas.

Le poids total du grain est $\gamma h b^2$ et la pression sur le fond

$$\gamma h b^2 - 4 P b \mu'$$

Cette valeur, mise dans l'équation (2), donne une expression dont la dérivée égalée à 0 montre qu'il y a un maximum de pression à la hauteur

$$h = \frac{b}{2}\left[\frac{1+\mu^2}{\mu+\mu'}\left(\frac{4\mu'}{3\mu'-\mu}\right)^2 - \frac{1-\mu\mu'}{\mu+\mu'}\right] \qquad (3)$$

Dans un silo carré de trois mètres de côté bordé de planches rabotées et plein de blé,

$$b = 3 \qquad \mu = 0{,}466 \qquad \mu' = 0{,}361$$

La formule (3) donne :

$$h = 10$$

La pression maxima sur le fond aura lieu à la profondeur de dix mètres.

Ce résultat s'explique :

Le poids du grain est supporté d'une part directement par le fond du silo, d'autre part par le frottement contre les parois. La première résistance est d'abord la plus grande, mais l'autre croît très rapidement, dépasse la première qui, après avoir atteint un maximum, décroît jusqu'à une certaine limite.

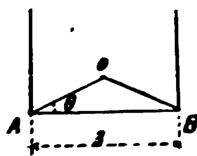


Fig. 276

Cette limite est égale au poids de la pyramide AOB (fig. 276) dont l'angle θ a sa tangente égale à μ et qui, n'exerçant aucune pression sur les côtés, porte uniquement sur le fond. Avec les données précédentes, ce poids est de 1 650 kilogrammes.

La formule (2) montre que la décroissance s'arrêtera à la profondeur de 30 mètres environ.

Le cas 2 se présente dès que :

$$h = b \operatorname{tg} \theta \qquad (4)$$

Les valeurs de tg θ sont :

Premier cas :

$$\operatorname{tg} \theta = \mu + \sqrt{\mu \frac{1+\mu^2}{\mu+\mu'}}$$

Deuxième cas :

$$\operatorname{tg} \theta = \sqrt{\frac{1+\mu^2}{\mu+\mu'}\left[\frac{2b}{h} + \frac{1-\mu\mu'}{\mu+\mu'}\right]} - \frac{1-\mu\mu'}{\mu+\mu'}$$

L'équation (4) avec la première valeur de tg θ donne pour le silo déjà considéré :

$$h = 3{,}90$$

Jusqu'à cette profondeur, on se trouvera donc dans le premier cas; la seconde formule, continue d'ailleurs avec la première, ne s'appliquera qu'ensuite.

Le tableau suivant est calculé pour un silo carré de 3 mètres de côté, plein de blé, dont le poids est estimé de 800 kilogrammes au mètre cube. La cinquième colonne représente la pression totale sur les quatre faces du silo; elle est donc égale à 12 fois la pression écrite à la

colonne précédente, qui est celle exercée sur une tranche d'un mètre de largeur.

Les chiffres indiqués à la sixième colonne sont obtenus par l'expression :

$$4\,Pb\mu'$$

Ce sont donc les chiffres de la cinquième colonne multipliés par 0,361. Ceux de la septième proviennent de la différence entre les chiffres des troisième et sixième colonnes.

Hauteur *h* du grain dans le silo *m*	Valeurs de tg θ pour le maximum de pression sur les parois	Poids du grain dans le silo *kg*	Pressions par tranche verticale d'un mètre P en *kg*	Pression totale sur les parois *m*	Poids du grain soutenu par le frottement sur les parois *kg*	Poids du grain soutenu par le fond *kg*
2,5	1,294	18 000	790	9 480	3 400	14 600
5,0	1,540	36 000	3 260	39 100	14 000	22 000
7,5	1,950	54 000	6 570	78 800	28 400	25 600
10,0	2,350	72 000	10 500	126 000	45 000	27 000
12,5	2,700	90 000	14 600	175 000	64 000	26 000
15,0	3,020	108 000	19 000	228 000	82 400	25 600
20,0	3,590	144 000	29 000	348 000	125 000	19 000
25,0	4,090	180 000	38 500	462 000	166 000	14 000
30,0	4,550	216 000	49 000	588 000	212 000	4 000
35,0	4,980	252 000	60 000	720 000	250 350	1 650
30,0						

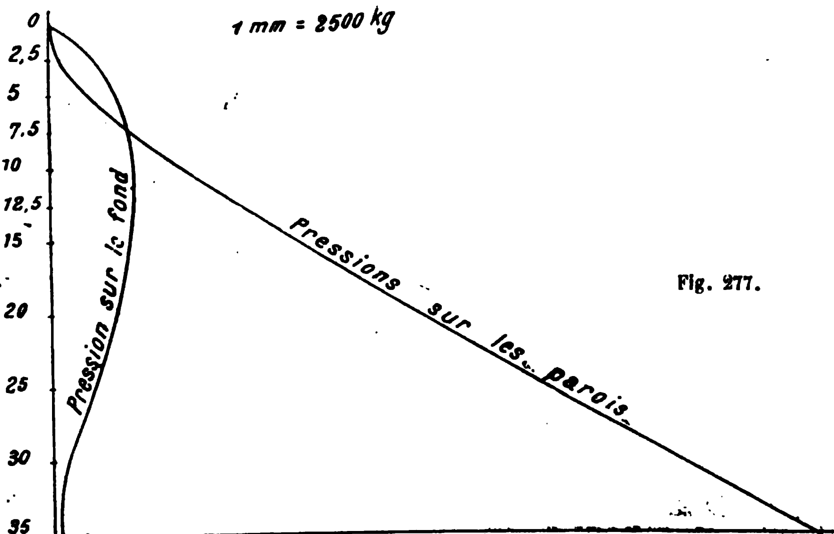


Fig. 277.

Les chiffres des deux dernières colonnes de ce tableau sont représentés par les courbes de la figure 278. Elles montrent clairement les variations de la pression sur les côtés et sur le fond.

Ainsi qu'il a été dit ci-dessus, ce tableau peut servir pour un autre silo dans lequel le rapport $\frac{h}{b}$ serait le même, car alors la pression varie comme le cube des côtés. Supposons, par exemple, un silo de 5 mètres de côté, rempli sur 25 mètres; alors $\frac{h}{b} = \frac{25}{5} = 5$.

Dans le tableau précédent $b = 3$; la proportion $\frac{h}{b} = 5$ conduit à $h = 15$. La pression sur les côtés à 15 mètres est 228 000 kilogrammes. Celle qu'on cherche sera donnée par $228\,000 \times \frac{5^3}{3^3} = 3\,190\,000$ kilogrammes.

EMBARQUEMENT DU CHARBON

Les installations pour l'embarquement du charbon ne sont pas les mêmes, selon qu'il s'agit d'un centre minier ou d'un port ordinaire, où ce sont les grues munies de bennes à clapet qui exécutent l'opération.

CENTRES MINIERS

Les procédés sont encore différents d'après la hauteur à laquelle peuvent arriver les wagons de charbon au-dessus du niveau de la mer ou du bassin à flot.

Estacades et couloirs. — Sur la Tyne, où les voies d'accès sont assez élevées pour être toujours au-dessus du pont de tout navire, et où l'espace ne manque pas, le chargement se fait au moyen de couloirs (spouts).

Les figures suivantes se rapportent à l'excellente installation de South-Shields.

Deux longues estacades (fig. 278) sont affectées au charbon. Les wagons pleins arrivent par les voies A et se garent sur celles situées de B en E. En E est une balance. Les wagons, pesés, sont dirigés par les six voies *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* sur les estacades. Les figures 279 et 280

indiquent le plan et la coupe transversale d'une estacade ; la figure 281 la coupe en long des voies *a*, *b*, *c*. Par suite de leur inclinaison, les wagons se rendent automatiquement à leur extrémité, arrivent sur les deux voies latérales *l*, *l*, dont la pente est contraire, reviennent en arrière et sont arrêtés, deux par deux, sur les

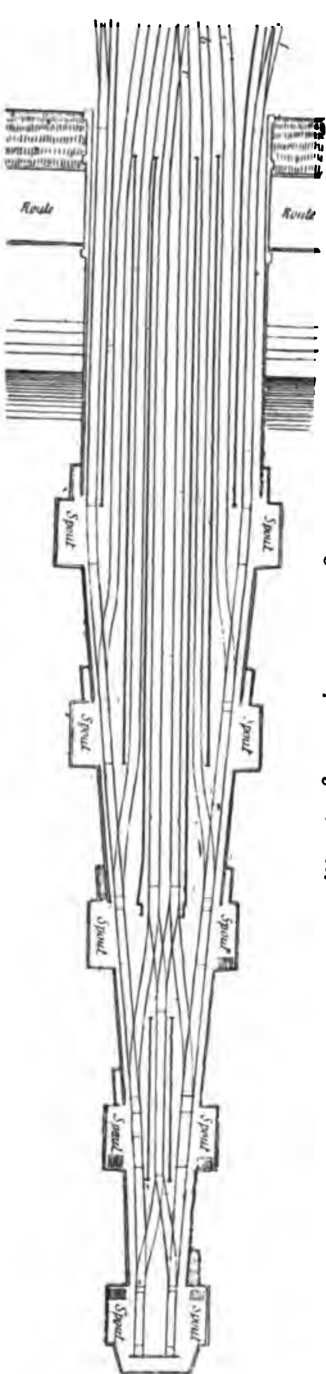


Fig. 279. — Plan d'une estacade.

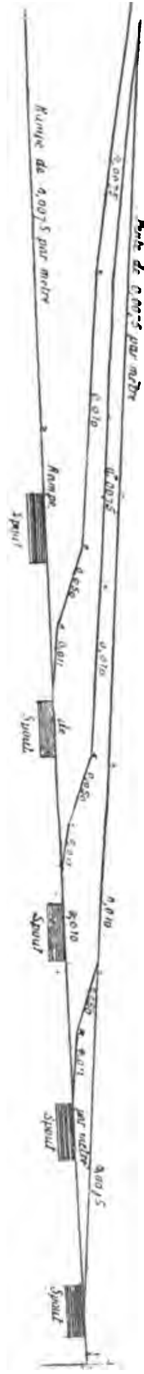


Fig. 281. — Coupe en long des voies.

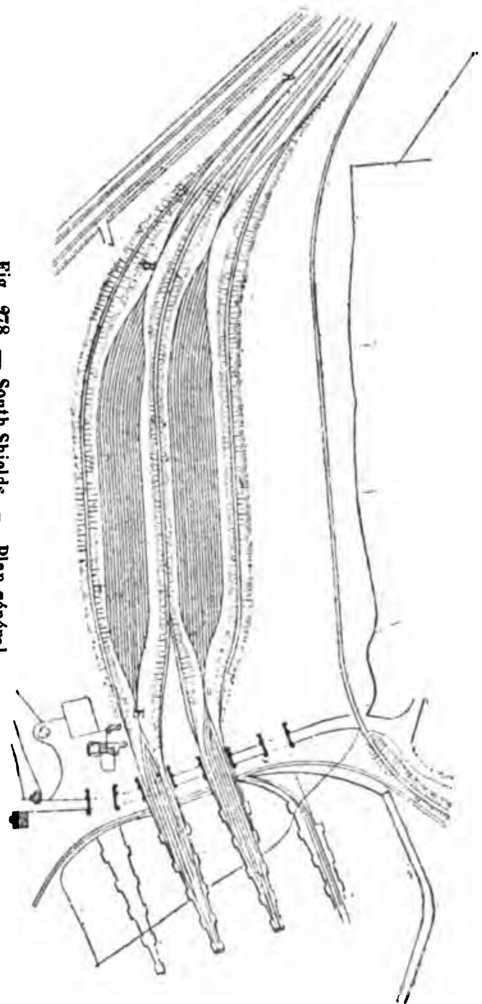


Fig. 278. — South Shields. — Plan général.

trémies correspondant aux couloirs. Une fois vidés, ils sont retournés par les voies *l*.

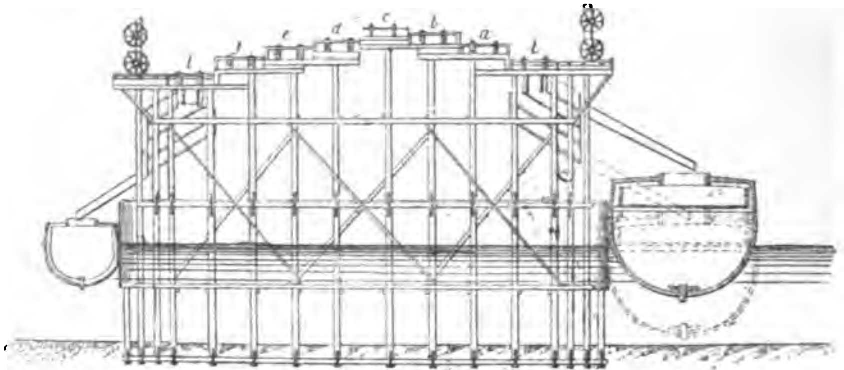


Fig. 280. — Coupe d'une estacade.

La figure 282 montre la coupe de l'une des trémies A, qui correspond à quatre couloirs B, B', B'', B''', que des clapets, mus par des tiges

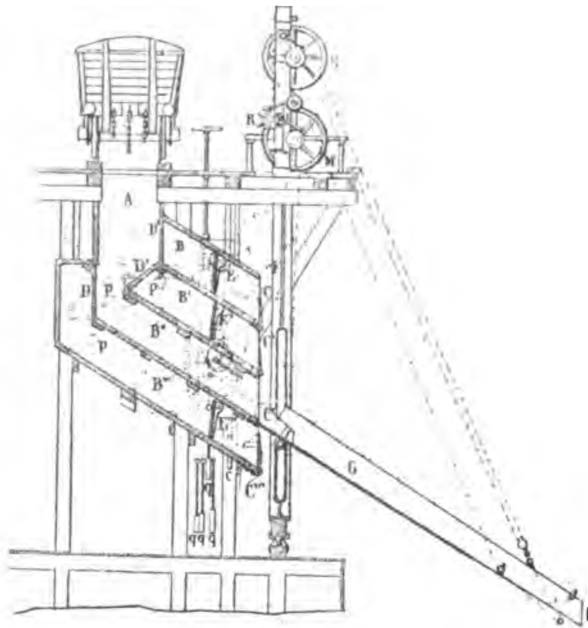


Fig. 282. — Tynemouth. — Coupe d'un spout.

situées sur l'estacade, peuvent ouvrir et fermer, suivant que l'allonge G doit être levée ou abaissée, à la demande du panneau du navire.

La rampe des voies d'arrivée est de $\frac{1}{132}$, la pente des voies de retour

$\frac{1}{100}$. A l'extrémité des premières sont disposés des tampons qui arrêtent le wagon montant et le font redescendre.

L'expérience indique que l'angle de 30 à 40° est le plus avantageux pour assurer la descente du charbon dans les spouts. Quelquefois on donne au couloir deux inclinaisons : à la première partie celle de 50° et à la seconde seulement 35°, afin de modérer la vitesse à l'arrivée.

Il est très important d'éviter le bris des morceaux de houille, non seulement parce que la valeur en est diminuée, mais encore parce que le charbon pulvérisé est une des causes des fréquentes combustions spontanées dans les cales des navires.

Whitehill Point. — Le chargement se fait en ce point de la Tyne en pleine rivière. Le niveau des rails des estacades est à 11 mètres au-dessus du niveau des plus hautes eaux et à 15,50 *m* des plus basses. On y peut charger par trois panneaux à la fois, chaque couloir étant disposé de façon à rayonner sur un cercle de 4,50 *m* de rayon, de façon à s'accommoder aux distances variables des écoutilles sur les différents navires.

Embarquement par machines. — Le système de la Tyne est le plus expéditif de tous, mais il demande pour être appliqué un espace que l'on trouve rarement dans les ports. On a alors recours à l'embarquement par les machines, Celles-ci sont différentes selon que les trains d'arrière peuvent arriver à un niveau assez élevé *(High level)* ou aboutissent à la hauteur du quai lui-même (*Low level*). Dans le premier cas, l'appareil employé s'appelle *Balance tip* et dans le second *Hydraulic tip*.

Balance-Tip. — A Cardiff, quand les wagons peuvent arriver à une certaine hauteur, on emploie le *balance tip* (fig. 283).

Une plateforme AA' placée entre des guides, reçoit les wagons arrivant sur la voie surélevée V; le poids en est balancé par des contrepoids B, de telle sorte que si le wagon est vide, la plateforme remonte ; s'il est chargé, elle descend. Ces mouvements sont réglés par un frein D. Quand le wagon plein est descendu à la hauteur voulue, on arrête le mouvement de l'extrémité postérieure A de la plateforme, par une chaîne, et on laisse s'incliner l'extrémité A' ; le charbon tombe par le couloir E et se rend dans le navire.

Le couloir E lui-même peut être monté ou descendu, à la demande du bâtiment, par les chaines RS, mues par des treuils à main.

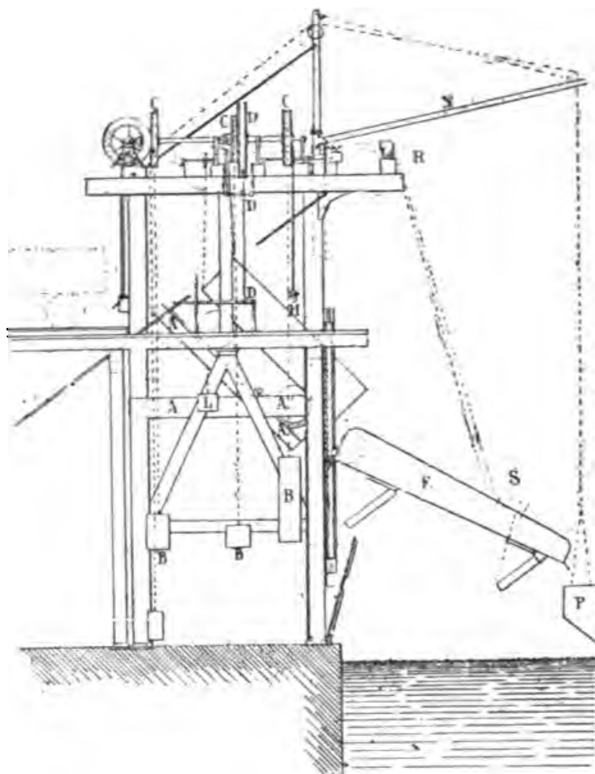


Fig. 283. — Cardiff. — Balance-Tip.

Enfin, pour casser le charbon le moins possible, on vide les premiers wagons dans une benne P, avec valve inférieure; cette benne est montée ou descendue par la chaine d'un treuil qui passe à l'extrémité du bras N.

L'inconvénient de ce système est d'exiger beaucoup de hauteur pour l'arrivée des vagons; on y remédie en partie, en levant l'extrémité A de la plateforme par un cylindre hydraulique, ce qui dispense de laisser descendre l'extrémité.

Hydraulic-tip. — Quand le niveau du quai n'est pas assez élevé, on emploie l'autre système, dit *hydraulic tip*. La plateforme A sur laquelle monte le wagon est élevée par le piston B d'une presse hydraulique entre quatre guides. Arrivée à la hauteur du couloir E, la plate-

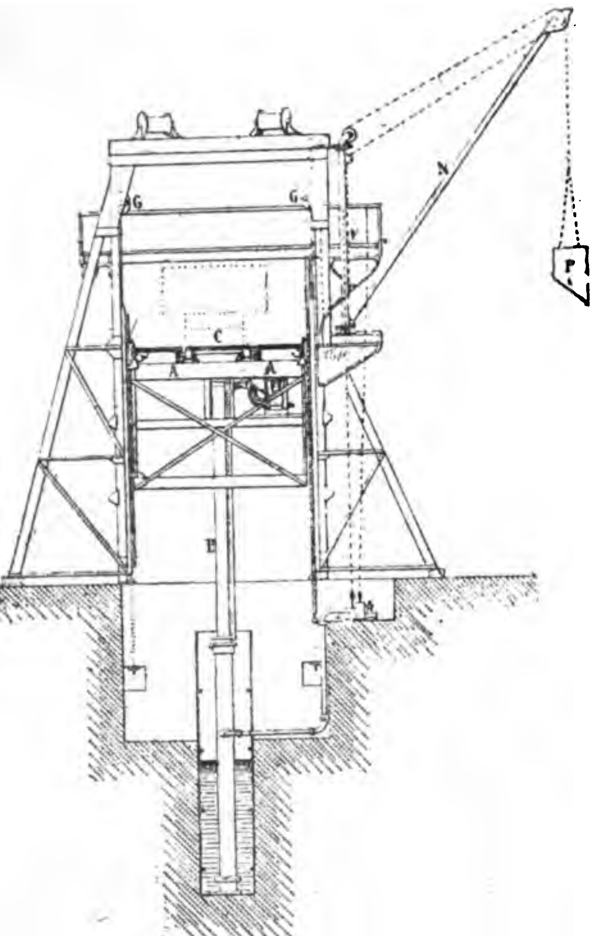


Fig. 284. — Hydraulic-Tip.

Cardiff.

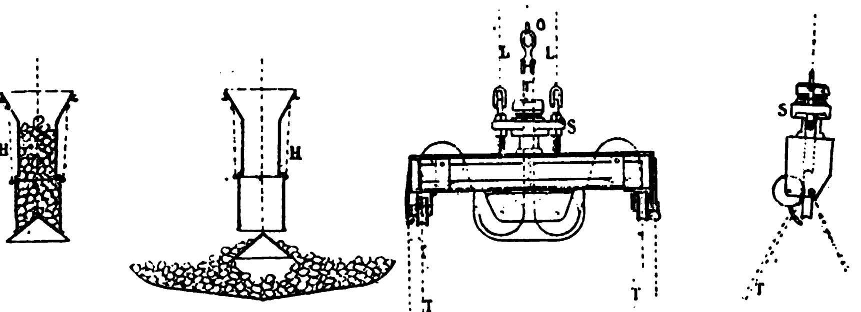


Fig. 286. — Détails divers.

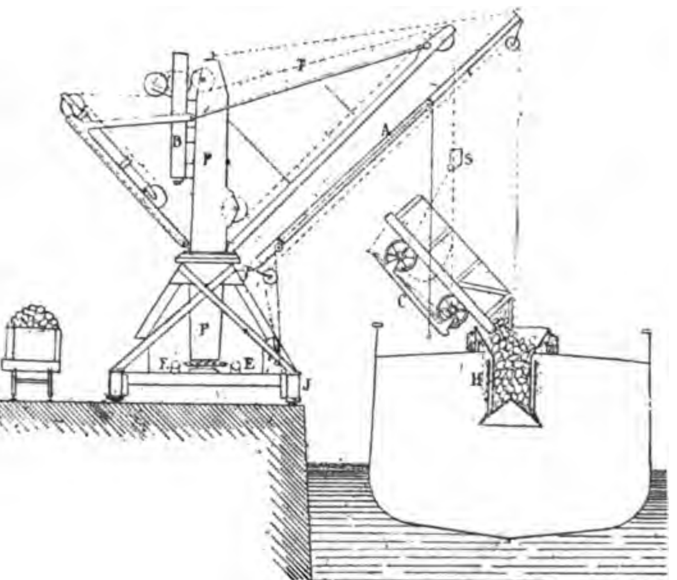


Fig. 285. — Grue hydraulique.

forme est basculée par le piston D d'une seconde presse, qui lui est fixée et suit son mouvement (fig. 284).

Comme dans le *balance tip*, le couloir peut être élevé ou baissé par des dispositions indiquées sur les dessins.

A Borrowstounness, l'*hydraulic tip* a une autre disposition. La plateforme est supportée par un câble en acier, qui passe sous deux poulies, se relève sur les moufles des deux presses hydauliques latérales retournées, et a ses deux extrémités fixes. Les pistons des presses, en s'abaissant, font monter les wagons pleins.

Une troisième presse, située à l'arrière de la plateforme, la fait basculer.

Grue hydraulique mobile. — Pour pouvoir charger en même temps plusieurs panneaux d'un navire, on doit recourir à l'emploi des grues mobiles ; nous donnons ici la description de celle qui est employée à Cardiff, en n'indiquant que les dispositions spéciales (fig. 285 et 286).

Cette grue a trois cylindres hydrauliques, un pour le levage, un pour la bascule, et le troisième pour raidir la chaîne de bascule.

Le premier est placé entre les flasques de l'arbre, le second à côté, et le troisième par derrière, de manière à équilibrer la volée et le fardeau.

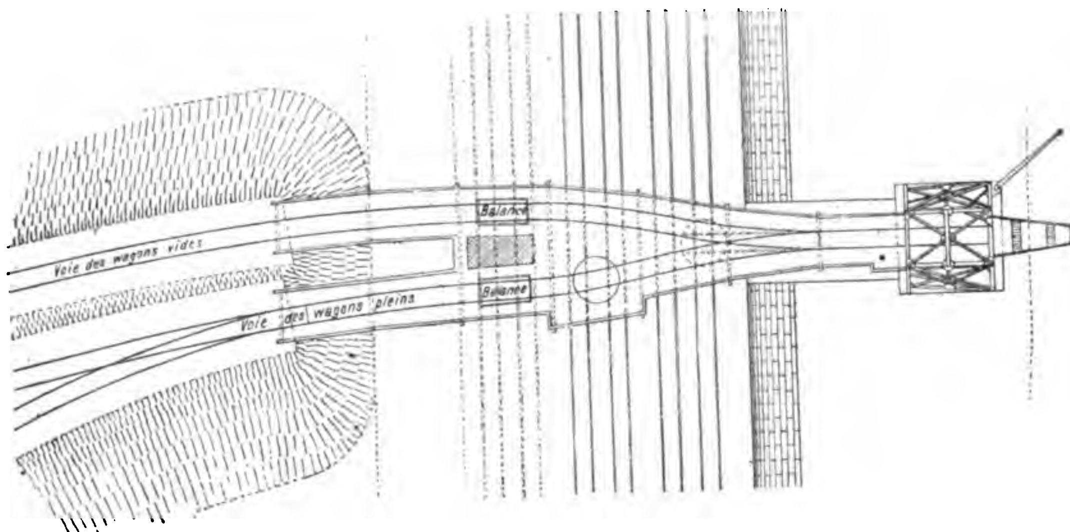
Les chaînes de levage LL sont attachées aux deux anneaux S situés de chaque côté d'un boulon creux T, qui peut tourner dans l'armature où sont fixés les anneaux ; la chaîne de bascule arrive en O, et de là se partage en deux tronçons, qui passent à travers le boulon creux, et se contournent sur quatre poulies, comme l'indique la figure. Elle explique aussi comment, quand on tire sur la chaîne de bascule, l'arrière du wagon se relève.

Pour empêcher que le charbon ne se brise en tombant, on le vide dans une cheminée télescopique, à clapet inférieur, mû par une chaîne qui passe sur le bras A. La cheminée s'allonge à volonté pour atteindre le fond de la cale.

La manœuvre complète d'un wagon dure de 2 1/2 à 3 minutes. Chaque grue peut embarquer 1 000 tonnes de charbon par jour.

Barry. — *Niveau élevé.* — Il y a dans ce nouveau port des dispositions très bien entendues.

Appareils fixes. — Des trains de 50 à 70 wagons, chargés chacun de 10 tonnes, sont envoyés des mines. Ils sont refoulés sur des voies courbes, à pente de 1 sur 233. Dans le pays de Galles du sud, les wagons à charbon n'ont de porte qu'à une extrémité et le charbon n'est pas vidé par le fond. Les wagons chargés arrivent des mines la porte à



Plan.

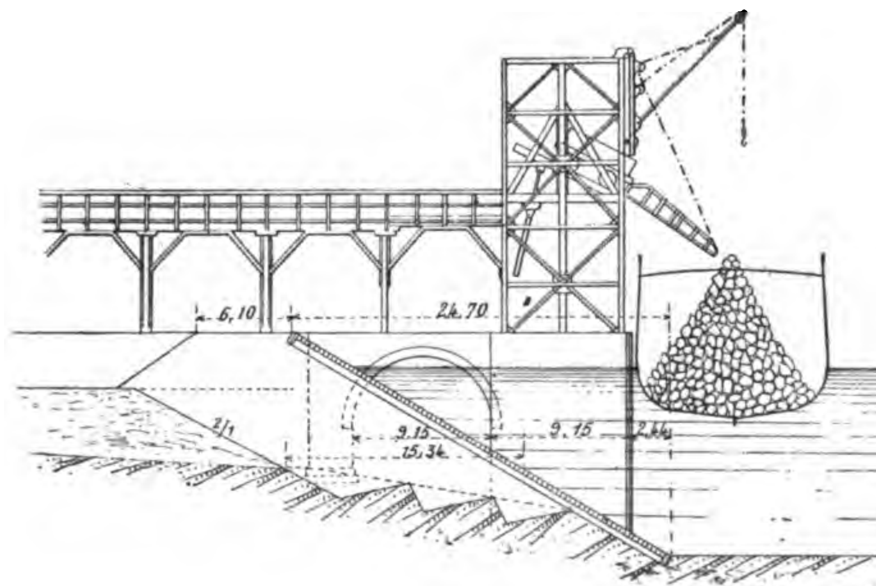


Fig. 287. — Barry. — Appareil fixe. Coupe verticale.

l'arrière, afin d'empêcher qu'ils ne s'ouvrent dans les pentes, de sorte que d'ordinaire il faut les retourner pour les vider. A Barry, les wagons évités sur les voies ont leur porte à droite. S'il y a eu une erreur, on peut les retourner sur une plaque tournante placée près du pont-balance.

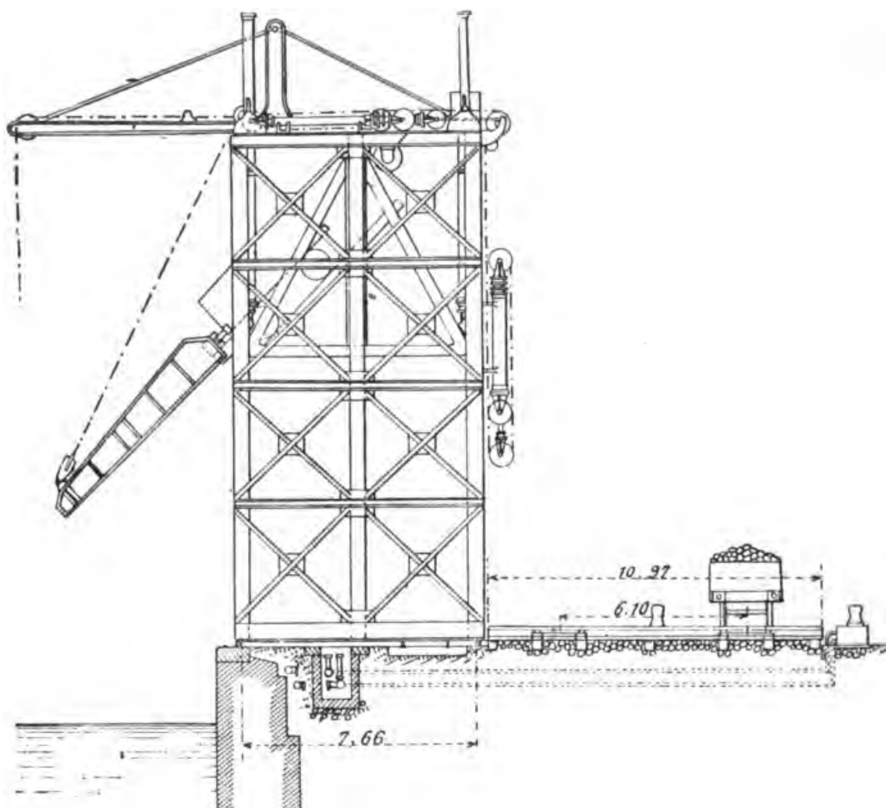


Fig. 288. — Barry. — Tip mobile. — Niveau élevé.

Les wagons sont envoyés un à un à la balance, puis tirés sur le coal-tip par deux cabestans hydrauliques. Des tours carrées en maçonnerie, de 9 mètres de côté, portent un échafaudage métallique avec des guides en fer pour le ber (fig. 287).

Celui-ci a une table basculante à charnière, soulevée par le piston de presses hydrauliques suspendues sous le ber lui-même et capables de soulever 19 tonnes; le wagon s'y place et est vidé dans un couloir comme il a été indiqué ci-dessus.

Appareils mobiles. — Le wagon plein arrive sur un pont à l'ex-

trémité duquel se trouve une table à bascule. Il est basculé par un cylindre dans un couloir, dont le plancher contient deux cribles que des glissières ferment à volonté. On peut, en ouvrant les deux ou une seule, obtenir du charbon plus ou moins trié. La quantité qui tombe est reçue dans un wagon (fig. 288).

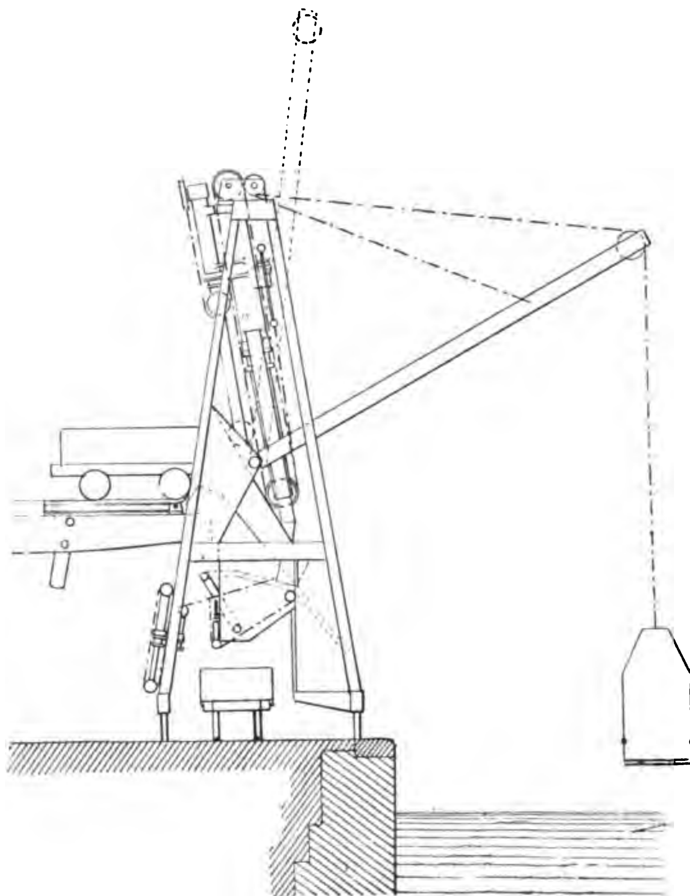


Fig. 289. — Barry. — Appareil mobile, niveau bas.

Le couloir est fermé inférieurement par une porte actionnée au moyen de chaînes reliées au cylindre hydraulique.

Le charbon est reçu dans une benne ; pour éviter qu'il ne se brise, on continue le couloir par un petit canal que pousse ou retire à volonté un cylindre. Ce canal est formé de poutrelles de 12 $\times$ 7 *cm* espacées de 7 *cm*.

La porte étant ouverte, le charbon s'écoule ; les morceaux les plus petits passent à travers le grillage formé par les poutrelles et remplissent le fond avant que n'y arrivent les gros morceaux auxquels ils servent de tampons.

La benne est alors soulevée par le cylindre de façon à dépasser les parois du navire, puis conduite au fond des panneaux.

La figure 289 est celle du système employé pour le niveau bas à Barry. Le système diffère peu de celui de Cardiff.

Production. — De ces divers procédés, le plus rapide est celui des couloirs. Même avec les *tips*, on peut arriver à une production de 400 tonnes à l'heure, mais un navire ne saurait être chargé à ce taux, par suite du temps perdu à l'arrimage du charbon.

A South Shields, les chargements de navires le plus rapides ont été opérés à raison de 480 tonnes à l'heure, par deux couloirs, soit 240 tonnes par couloir, résultat du reste considérable.

A Alexandra Dock de Hull, la production horaire, durant les années les plus prospères comme 1898, n'a pas dépassé 125 tonnes par appareil.

Le rendement des *hydraulic tips* de Cardiff n'est en moyenne que de 80 tonnes.

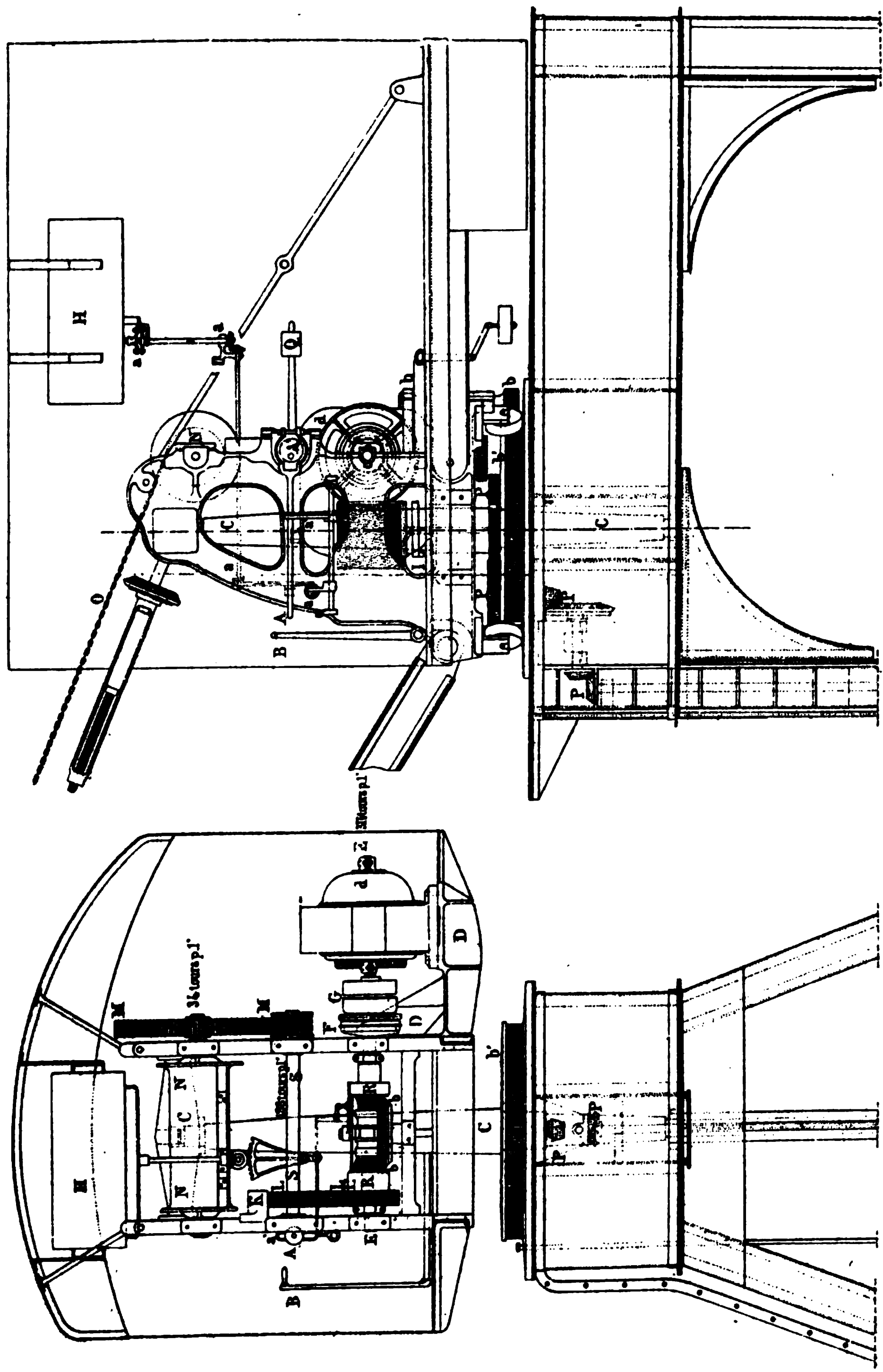
Le rendement maximum paraît être atteint au bassin de Grangemouth.

ÉLECTRICITÉ

Grues électriques. — Nous réunissons ici les modèles des grues électriques actuellement en usage : Le Havre (fig. 290), Hambourg (fig. 291) avec la branche horizontale de l'équerre appliquée contre le mur du hangar et Rotterdam (fig. 292), grue à portique.

Ecluse d'Ijmuiden. — La nouvelle écluse d'Ijmuiden est la première à laquelle ait été appliquée la manœuvre électrique, adoptée à la suite d'expériences minutieuses qui ont démontré la supériorité du système sur la machinerie hydraulique, rendue souvent inefficace pendant l'hiver. Nous devons les renseignements suivants à l'obligeance de M. l'Ingénieur en chef van Hooff.

Les portes, qui pèsent de 121 à 144 tonnes, suivant leurs dimensions,



Vue d'arrière du mécanisme. Fig. 290. — Grues électriques du Havre. Elévation latérale.

s'ouvrent en une minute et demie, sous une charge de dix mètres d'eau. La manœuvre est directe, comme à Barry, c'est-à-dire que les

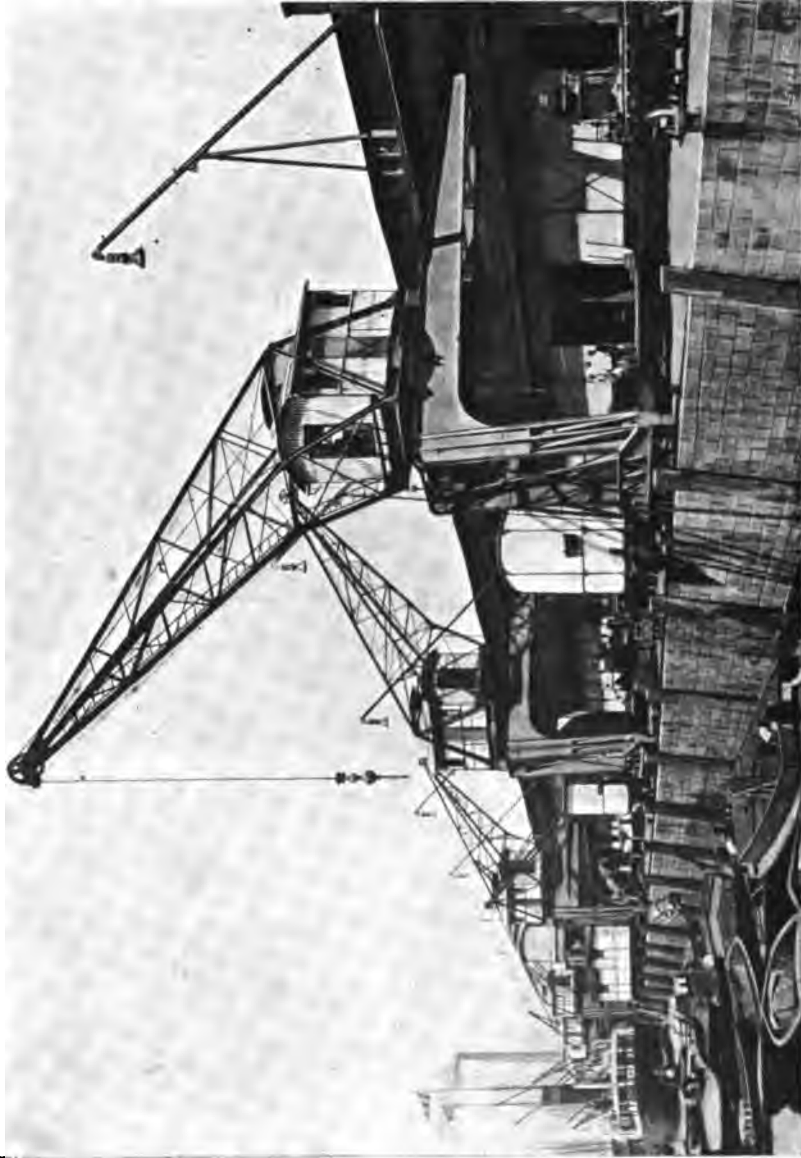


Fig. 291. — Grues électriques de Hambourg.

chaînes sont supprimées et que les portes sont actionnées par une bielle, articulée en leur centre.

L'autre extrémité de la bielle est portée par un chariot à quatre roues, auquel elle est reliée par un double joint mobile dans les plans



Fig. 292. — Grues électriques de Rotterdam.

horizontal et vertical. Ce chariot se meut dans une chambre oblique à celle de l'écluse, et dont l'axe est normal à la porte dans sa position

moyenne; il roule sur une voie ferrée et est guidé invariablement par quatre galets à axe vertical s'appuyant contre des rails horizontaux.

Suivant que le chariot s'avance ou recule dans la chambre, la chambre se ferme ou s'ouvre. Le mouvement lui est transmis par des chaînes sans fin qui lui sont fixées par des ressorts.

Les dynamos motrices sont installées derrière la chambre du chariot. La force nécessaire à la manœuvre des portes est de 45 chevaux

Les vannes de l'aqueduc sont mues aussi par l'électricité; le mouvement est transmis aux roues des chaînes de Galle par une vis sans fin. Ce mécanisme exige 17 chevaux.

Enfin les manœuvres des navires sont exécutées par douze cabestans, dont dix à main et deux électriques. Ceux-ci développent une force de 10 000 kilogrammes pour une vitesse tangentielle de 10 *cm* et 5000 kilogrammes pour une vitesse double. Ces cabestans consomment 21 chevaux.

L'usine centrale comprend deux machines de 100 chevaux et une batterie d'accumulateurs. La distribution est faite par trois fils avec 220 volts.

L'éclairage se compose de 12 lampes à arc de 10 ampères, de 500 lampes à incandescence et de lampes-signaux.

La résistance et les commutateurs sont placés dans une chambre séparée de celle des machines, et où se trouve également le tableau de distribution.

CHAPITRE XXXI

APPAREILS POUR LA RÉPARATION DES NAVIRES

Les navires, après quelques temps de navigation, ont leur carène salie par des herbes ou des animaux marins qui s'y fixent, et réduisent la vitesse dans une incroyable proportion. Pour la conservation des parties immergées, le renouvellement de la peinture est indispensable. Enfin des chocs, des abordages, l'usure naturelle elle-même, obligent à des réparations. Il faut donc pouvoir mettre à sec la partie soumise au travail, et dans la plupart des ports se trouvent des appareils appropriés.

Les embarcations sont simplement halées sur le rivage, s'il y existe un talus assez plat ; c'est généralement ce qui se fait dans les ports de pêche

Abatage en carène. — Les navires d'une certaine dimension ne peuvent être ainsi retirés de l'eau ; le procédé le plus simple pour les visiter est l'abatage en carène. On incline la coque sur le côté jusqu'à mettre la quille hors de l'eau ; à cet effet, des palans sont fixés d'une part au haut des bas mâts, d'autre part à des chalands lestés ou à des organeaux fixés solidement sur les quais, dans des massifs de maçonnerie. Les mâts sont renforcés par des béquilles dont le pied est supporté par des poutres placées sur le pont. En *embraquant* les cordages des palans au moyen de cabestans ou de treuils le navire s'incline.

Quand on abat sur des chalands, le point d'attache est toujours assez bas et suit les fluctuations du niveau de l'eau ; il n'en est pas de même pour les organeaux placés à terre, et il faut s'arranger pour que les mâts ne touchent pas l'arête du quai avant que la quille ne soit émergée, d'autant plus qu'il y a lieu de prévoir l'abaissement du niveau par la marée.

Dans nombre de ports et même à Nantes, il n'y a pas d'autre procédé

de visite des navires ; on lui trouve l'avantage, pour le calfatage, d'ouvrir les joints des bordages qu'on remplit mieux d'étoupe et de brai, et qui se referment ensuite. Mais l'abatage fatigue le navire et exige un désarmement presque complet.

Gril de carénage. — Dans les ports à marée, pour les réparations de peu d'importance et les navires de dimensions moyennes, on emploie le gril de carénage. C'est une plateforme en bois — rarement en maçonnerie — installée contre un mur de quai, pour faciliter l'accorage du bâtiment. Elle dépasse le niveau des basses mers de morte eau. Le navire, amené au-dessus pendant le flot, se pose sur la plateforme au jusant ; on l'étaye et il peut être visité pendant la marée basse, d'autant plus longtemps que le gril est situé plus haut. Sa position doit donc être fixée en tenant compte de cette considération, mais aussi du tirant d'eau des bâtiments.

A Dieppe, le gril est fondé sur six lignes de pilotis moisés dans les deux sens ; le plancher mesure 60,50 *m* de longueur sur 11,50 *m* de largeur ; les navires portent sur des pièces transversales appelées *tins*, de 6,50 *m* de longueur ; le dessus des tins est à la cote + 3,72 *m*.

En Angleterre on ne trouve des grils que dans les petits ports. En revanche, aucune forme de radoub ne pouvant contenir le *Great-Eastern*, c'est sur un gril spécial que se faisaient ses réparations.

Ce gril était placé sur les rives de Milford Haven ; il consistait en traverses de bois portées sur de courts pilotis, la plupart en bois, quelques-uns en fer, là où le sol était trop rocheux pour être pénétré.

CALES DE HALAGE

Les cales de halage que les Anglais désignent sous le nom de *patent-slips* ou *slipways* sont des appareils pour la mise à terre des navires à réparer ; c'est le perfectionnement de la méthode du halage sur le rivage employée pour les petits navires. Au lieu de les traîner sur le sable ou les galets de la plage, on les fait monter sur un appareil spécial.

Parfois c'est une simple plateforme en charpente munie de rouleaux qui facilitent le mouvement du bateau ; les navires importants sont hissés sur un châssis ou *ber*, glissant ou mieux roulant sur une voie.

Slip roulant. — Il se compose d'une voie ferrée dont les rails sont fixés à des longrines reposant sur des traverses. La voie ferrée comprend deux parties : l'une constamment émergée où se font les réparations, l'autre qui s'enfonce dans l'eau et où descend le ber pour aller se placer sous le bateau.

Longueur. — La longueur de ces parties est déterminée : la partie émergée ou *cale* a la longueur du plus grand bâtiment à recevoir ; quant à la seconde, l'*avant-cale*, elle s'étend assez loin sous l'eau pour prendre le navire.

Celui-ci doit pouvoir être retirémême en marée de morte-eau. Quand l'extrémité antérieure de la quille, qui monte d'abord, rencontre le ber, elle se trouve au-dessous de la surface de toute la hauteur du tirant d'eau du navire.

Soient donc d la différence entre les niveaux des hautes mers de vive eau et morte eau, h le tirant d'eau du bâtiment et l sa longueur, α l'inclinaison de la voie ferrée, la longueur L de la partie immergée est au minimum :

$$L = \frac{d+h}{\operatorname{tg} \alpha} + l.$$

Pente. — Cette formule montre qu'il y a intérêt à augmenter l'inclinaison, pour diminuer la longueur immergée, dont l'établissement est difficile. La détermination de cet angle dépend de deux conditions : la nécessité de ne pas accroître outre mesure la force nécessaire au halage et celle d'avoir une pente suffisante pour que le ber chargé redescende de lui-même. En pratique, l'inclinaison est de 5 à 6 %, soit un angle de 3° environ.

Fondations. — Les fondations de la partie émergée sont aisées à effectuer ; il n'en est pas de même de l'autre, à moins que l'amplitude de la marée ne soit suffisante pour que le travail s'exécute à basse mer. Autrement, en règle générale, le mieux est de recourir à un batardeau.

Si ce procédé est impraticable, on bat un pilotis sous l'eau, ou l'on emploie l'un des autres moyens indiqués pour les murs de quai.

On peut, par exemple, après avoir dragué jusqu'au terrain résistant, établir des murs en blocs artificiels ; ou bien remplir l'excavation d'enrochements nivelés par des pierrailles, qui sont recouvertes d'une couche de béton d'un mètre au moins d'épaisseur ; ce massif peut encore, pour plus de sécurité, être revêtu d'un pavage au ciment,

travail exécuté au scaphandre ou mieux au bateau-cloche si c'est possible.

La fondation est réglée suivant le talus adopté, en tenant compte de la hauteur des longrines, des rails, du ber, etc., aussi bien que des valeurs indiquées dans la formule précédente.

Les pilotis sont recépés à la demande et moisés ensemble.

La fondation, si elle se compose de plusieurs systèmes, doit être partout également résistante, afin que la voie ferrée n'éprouve pas de tassements irréguliers, qui compromettraient la solidité et la manœuvre du ber.

Voie ferrée. — La voie ferrée est installée pour supporter le ber en son centre et de chaque côté ; souvent tous les rails sont établis par paires : en tout cas celui du milieu étant le plus chargé est toujours double ; il y a donc au moins 4 rails, dont deux rapprochés au centre et deux latéraux, un symétriquement de chaque côté, à une distance qui varie suivant la largeur des navires à recevoir. Les rails sont d'ordinaire du type Barlow, très solides ; ils reposent sur des longrines en bois de 30 à 35 *cm* d'équarrissage.

Dans la partie émergée, les longrines sont supportées par de courtes traverses jointives en bois.

De 2,50 *m* en 2,50 *m* est posée une traverse de toute la largeur de la cale pour assurer la liaison générale. Dans la portion submergée, toutes les traverses jointives sont de cette dernière dimension, et contreventées forment une plateforme continue.

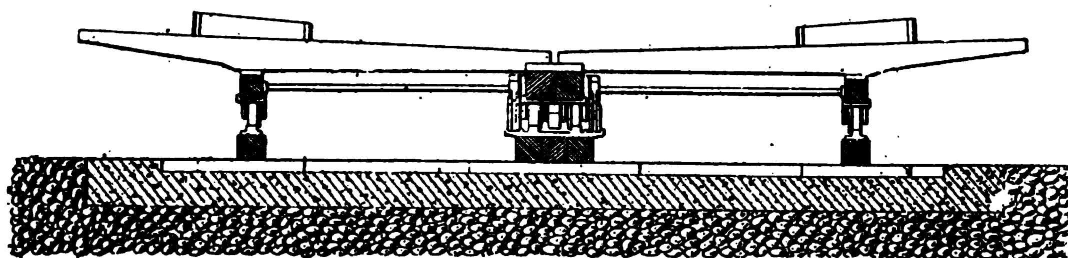
Cette plateforme est posée sur l'avant-cale. On a intérêt, au lieu de la placer par morceaux, d'opérer comme suit :

Après avoir battu de chaque côté de la fondation des pilotis guides, on amène entre ces pieux la plateforme qui flotte malgré les rails dont elle est chargée. Quaud elle est bien à sa place, ce dont on s'assure par des repères, des mâts verticaux qui se correspondent sur l'axe, on l'enfonce en la chargeant de gueuses de fonte, qui restent à demeure sur les côtés où ne passe pas l'ensemble roulant. On relie alors fortement la plateforme avec la voie ferrée terrestre.

Ber. — Le ber se compose d'une longrine longitudinale centrale, de la longueur voulue, et de deux autres plus légères placées au-dessus des rails latéraux. De la longrine centrale aux latérales s'étendent des

traverses inclinées à $\frac{1}{7}$ vers le centre, sur lesquelles glissent des tasseaux en bois superposés, à face supérieure oblique, pour épouser la forme des carènes et épontiller le bâtiment.

Ces tasseaux sont manœuvrés par des cordages qui passent sur une poulie de renvoi placée à l'extrémité centrale de la traverse et retournent sur les côtés; en les raidissant, le tasseau se serre contre le bâtiment.



Coupe transversale.

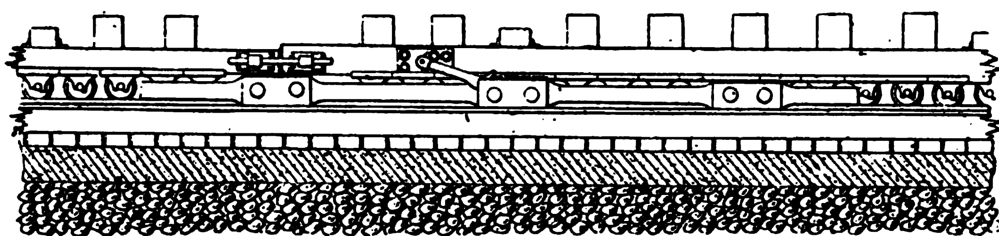


Fig. 293. — Ber. — Élévation longitudinale.

Les longrines du ber sont supportées par des roulettes tournant sur les rails ; celles du centre sont jumelées et presque contiguës, car c'est là qu'appuie la majeure partie du poids, les autres sont espacées d'un mètre. Une douzaine de ces galets reçoit des linguets destinés à arrêter le ber en cas d'accident.

On forme en général le ber de plusieurs parties inégales, qu'on peut ajouter pour en proportionner la longueur à celle des bâtiments.

Les accessoires du ber sont : des chasse-boue à l'extrémité inférieure des longrines longitudinales ; des fourches de fer à charnières placées les unes à l'avant, les autres à l'arrière de la longrine centrale, qu'on redresse pour guider le bateau qui doit passer entre elles quand il vient se placer ; les cordages de manœuvre des tasseaux et ceux des linguets, qu'on relève horizontalement quand ils ne servent pas.

Manœuvre. — Le navire est présenté sur le *ber*, en le repérant au moyen des jalons posés sur l'axe. L'avant est tourné vers la terre, de façon que la quille repose sur la longrine centrale du ber et il est fixé par des chaînes ; on commence le halage ; la quille se couche successivement de l'avant à l'arrière sur le ber ; dès qu'une traverse sort de l'eau, le bâtiment est calé par les tasseaux ou les blocs de carène, sur lesquels il est attaché. Peu à peu, il est ainsi émergé.

Pour le maintenir droit pendant le halage, on se sert d'aussières manœuvrées de terre et attachées sur les bastingages. Une fois émergé le navire est accoré par des béquilles.

Entre les deux rails centraux, une longrine porte une crémaillère à dents supérieures Des linguets fixés sous les longrines du ber s'y engagent pendant la montée ; on prévient ainsi tout accident, en cas de rupture de l'appareil de halage. A Dunkerque les deux rails centraux et la crémaillère sont fondus ensemble sur un seul bâti.

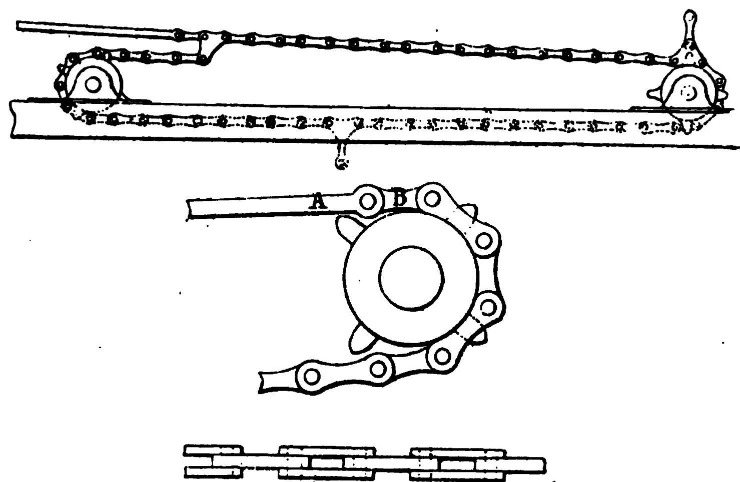


Fig. 294. — Appareil de halage.

Appareil de halage. — Il varie beaucoup. Pour les petits bâtiments, ce sont des cordages et des treuils. Dans certains ports, le halage s'opère par des chaînes avec treuils à noix, ou par des câbles d'acier enroulés sur des tambours de 3 mètres de diamètre, mus par la vapeur.

Le plus souvent, le halage se fait par des tiges articulées, longues de 3 mètres. La figure 294 indique la disposition. Une chaîne de Galle

de 9 mètres de longueur porte en trois points équidistants une articulation avec un œil supplémentaire auquel on accroche la première tige. Quand la chaîne a tourné de 3 mètres, la seconde articulation triple a pris la place de la première ; on arrête le mouvement en laissant tomber les linguets de la crémaillère à rochet, on enlève la première barre, on articule la seconde et ainsi de suite.

D'autres fois, le mouvement est donné par des cylindres hydrauliques dont le piston a la course de 3 mètres ; quand il est arrivé à l'extrémité de son parcours, on enlève la première tige, on fait revenir en arrière, la seconde tige est articulée, et ainsi de suite. Les cylindres se font à pistons différentiels, pour proportionner la force au poids des navires.

Le temps nécessaire au halage varie de 30 minutes à 4 heures.

Dispositions accessoires. — Pour diminuer la longueur de l'avant-cale, on laisse la quille déborder de chaque côté la longrine centrale du ber. On fait aussi des bers télescopiques, c'est-à-dire avec longrines pouvant être ramenées vers le centre du châssis ou au contraire s'en éloigner comme des rallonges.

Il faut d'ailleurs se méfier de toute disposition tendant à diminuer la solidité et l'équilibre du ber ; le halage d'un navire hors de l'eau sur un chariot où il est toujours mal accoré est déjà une opération délicate et il ne faut pas la compliquer pour épargner une dépense première. Ces économies se paient souvent par les difficultés des manœuvres ultérieures.

Slips à relevée. — L'inconvénient du slip construit comme il vient d'être décrit, c'est d'être immobilisé sous le navire. Il en existe pouvant servir simultanément à deux navires.

Dans un système destiné à réaliser cet avantage, la portion émergée de la voie ferrée est assez longue pour recevoir deux navires bout en bout. Les traverses qui relient la longrine centrale du ber avec les latérales et qui portent les tasseaux ne sont pas fixes, mais mobiles. Un navire étant halé au haut du chemin de fer, on place à terre des pièces de bois entre les traverses ; puis, commençant par l'avant, on billarde ces pièces fortement contre les flancs du navire, pour leur faire remplir le rôle d'épontilles.

Les tasseaux étant rendus lâches par cette opération peuvent alors être enlevés ; les traverses sont retirées latéralement. Le navire ne

porte plus que sur les épontilles et sur les tins de la longrine centrale. On enlève ceux-ci après avoir soulevé le navire au moyen de leviers hydrauliques. Le ber, devenu libre, peut aller prendre un second bateau. L'opération inverse replace le bâtiment sur le châssis.

Un autre procédé consiste à faire passer le navire du premier ber sur un second qui roule sur des rails latéraux à plus forte inclinaison. A côté des rails, dans leur portion supérieure, et parallèlement à leur direction, on place un second jeu de voies sur lesquelles se meut un ber auxiliaire. Quand le bâtiment se trouve halé sur le second ber, en continuant le mouvement, l'inclinaison plus forte des secondes voies fait que le bateau abandonne le premier châssis. qui se trouve libre pour en chercher un autre.

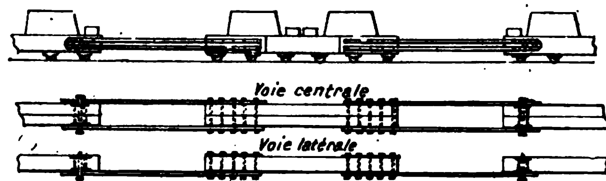


Fig. 295. — Ber de Calcutta.

Dans une cale de halage construite à Calcutta, on a employé, pour réduire la longueur de la partie de voie immergée, un artifice qui peut être imité, sous réserve des considérations exprimées au sujet des complications à apporter au ber.

Celui-ci (fig. 295) a été coupé en quatre endroits sur une longueur de 2,75 *m*, et les longrines y ont été remplacées par des barres de fer glissant sur des boutons ; le berceau pouvait donc ainsi se télescoper sur 11 mètres. On le poussait au bas de la voie et le navire s'y attachait à l'extrémité supérieure. A mesure du halage, le berceau se développait sous le navire.

L'inclinaison de la voie étant de $\frac{1}{24}$, on gagnait donc 46 *cm* de hauteur.

Les coupures ont été faites aux extrémités ; le centre qui porte les portions les plus lourdes du navire restait intact.

Ces systèmes compliqués ne sont pas à recommander pour des installations nouvelles.

Puissance nécessaire. — A Calcutta, on a déterminé la puissance absorbée par le frottement au moyen d'un navire de 550 tonnes porté

sur un berceau du poids de 52 tonnes, en tout 602 tonnes. L'effort développé par la machine était de 45,2 *t*, et le travail d'élévation du navire absorbait $\frac{602}{24} = 25,1\ t$; le frottement en exigeait donc la différence, soit 20,1 *t*, c'est-à-dire $\frac{20,1}{602} = 3,33$ % du poids soulevé.

Slip en travers. — Labat a installé d'abord à Bordeaux puis à Rouen un slip qui au lieu de haler le navire suivant sa longueur le prend par le travers. Avec cette disposition la longueur de la cale et de l'avant-cale est très réduite ; si l'inclinaison est de 30 %, une longueur de 3,30 *m* correspond à un mètre de profondeur. Pour un navire calant 7 mètres, il suffit donc d'une longueur d'avant-cale de 23,10 *m*. De plus, il est facile de fractionner le ber en plusieurs portions indépendantes et de l'affecter en même temps à deux navires de moyenne longueur. Enfin, la manœuvre du bâtiment sur la cale est plus facile et il est reçu en même temps sur toute sa longueur.

Slip de Rouen. — Il a 90 mètres de longueur latérale, et peut recevoir des navires de 95 mètres de longueur et d'un poids de 1 800 tonnes. La pente est de 20 °/₀ ; la largeur dans le sens du halage est de 51,30 *m* ; la course du ber est de 36,50 *m* correspendant à une élévation verticale de 7,15 *m*.

Le ber étant au bas, les tins sont à 4,50 *m* au-dessous des hautes mers de morte eau ; mais la saillie des coussins latéraux d'accorage réduit à 4,35 *m* la hauteur libre. Quand le ber est au sommet, le niveau des tins dépasse d'un mètre celui des hautes mers.

Le plan incliné est formé de 42 longrines appuyées sur des pieux moisés ; les longrines portent des rails sur leur face supérieure. Le ber est également formé de 42 poutres entretoisées munies d'un rail sur la face inférieure. Ces rails sont à ornière centrale.

Des galets de 14 *cm* de diamètre et de 18 *cm* de largeur roulent entre les deux rails, dans l'ornière desquels ils engagent une saillie correspondante. Ces galets ne sont pas fixés au berceau, ni à la voie ferrée ; écartés de 56 *cm*, ils sont réunis de chaque côté par une plate-bande de fer et forment ainsi un chapelet dont la longueur est égale à celle du chariot augmentée de la demi-longueur de parcours entre les deux positions extrêmes du berceau.

Pour que tous les chapelets restent toujours dans la même position, chacun d'eux est commandé par un câble de fil de fer qui fixé sous la

partie supérieure de la cale, passe sur une poulie placée au bas du chapelet et s'attache sur le berceau. Quand le berceau aura marché d'une longueur l il est clair que la poulie se sera déplacée de $\frac{l}{2}$. Le roulement de chaque chapelet sera donc régulier, quand même l'une des poutres du berceau ne porterait pas bien sur les galets.

On voit que de cette façon le frottement de glissement des roues sur les essieux n'entre pas en ligne de compte pour le mouvement du berceau ; on n'a à vaincre qu'un frottement de roulement, dont le coefficient n'est que de 3 °/₀.

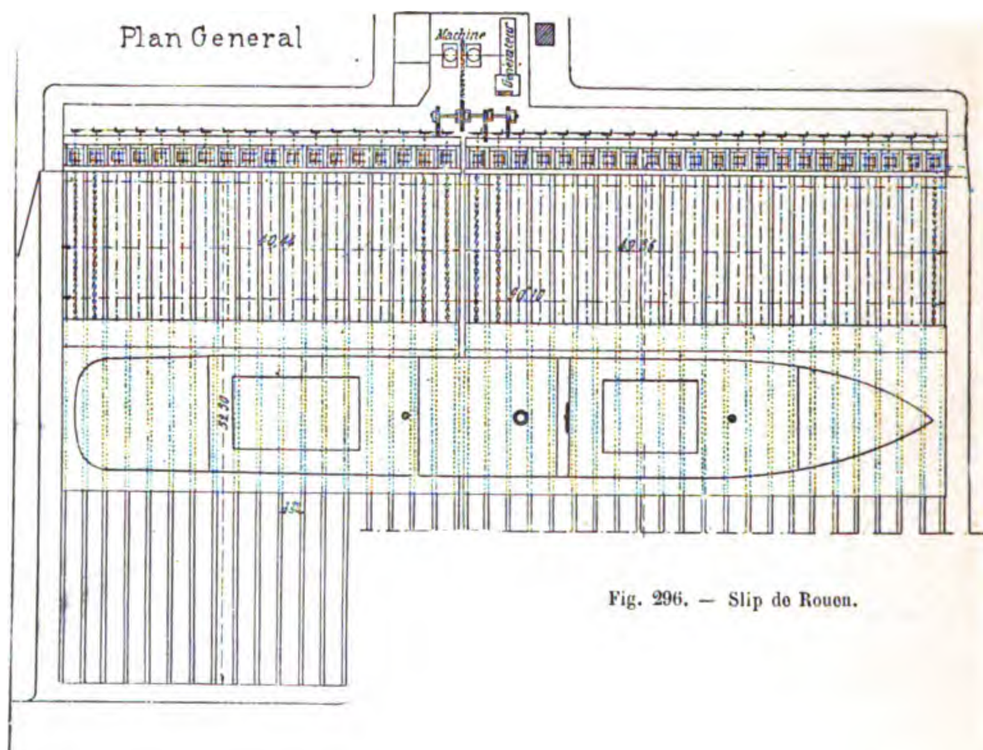
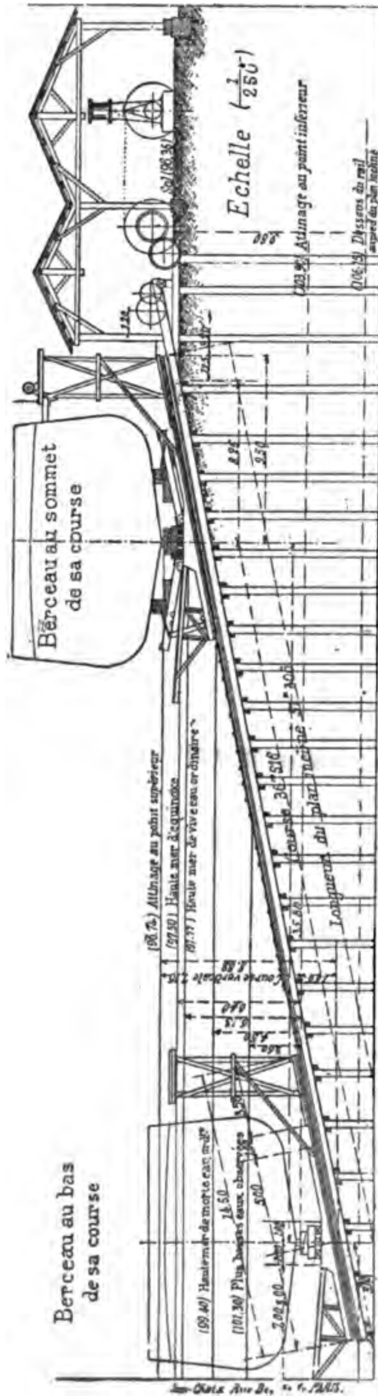


Fig. 296. — Slip de Rouen.

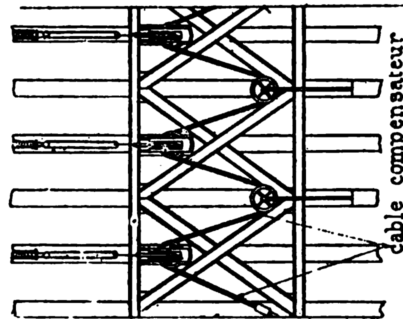
Le berceau porte en moyenne sur cinq galets par poutre ; la charge est donc répartie sur 210 roulettes ; pour un navire de 1 800 tonnes de poids, elle est par rouleau de 8 tonnes et demie.

Le berceau est divisé en deux parties de 49,36 *m* et 40,44 *m* de longueur, qu'on peut utiliser ensemble ou séparément selon la dimension

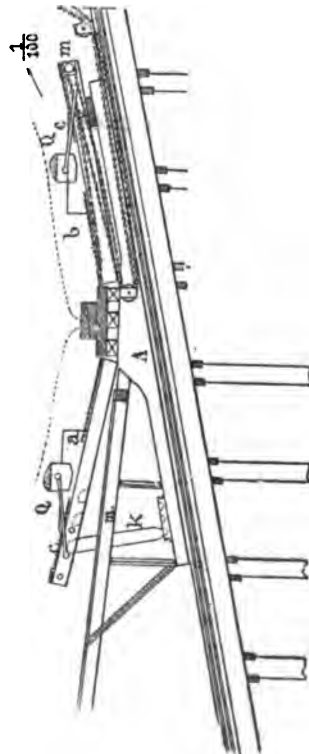


Coupe transversale.

Fig. 296. — Slip de Rouen.



Mode d'attache du berceau.



Coussins d'accorage.

du navire; il porte, du côté de terre, une passerelle de service toujours émergée.

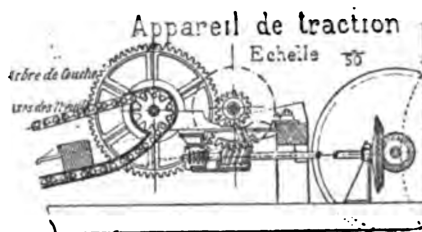


Fig. 296. —Apparoil do traction.

Les figures 296 donnent le mode de construction du berceau. Pour y placer un navire, on amène la quille au-dessus des tins, au moyen d'étais de service, et l'on soulève le ber jusqu'à le toucher. On appuie la carène latéralement par des coussins mobiles, formés de coins glissant sur une poutre en tôle ; le coin inférieur peut être tiré dans les deux sens à l'aide de chaînes et de treuils ; le coin supérieur, retenu par une bielle à la poutre, s'élève verticalement avec son coussin de 30 *cm*: ce déplacement étant très faible, c'est la poutre elle-même qui est articulée et peut prendre l'inclinaison voulue. La bielle du coussin peut être déplacée sur la poutre, ce qui permet de rapprocher le coussin à la demande.

Manœuvre. — Le berceau est manœuvré par 40 chaînes de Galle, placées au milieu de l'intervalle qui sépare deux poutres et terminées par une poulie. A l'extrémité do chacune des poutres est attachée également une poulie, et un câble fixé à chaque extrémité du berceau passe alternativement d'une poulie du berceau à la poulie suivante des câbles, forment feston.

L'effort de halage se répartit également sur toute la longueur de ce câble compensateur. Chacune des chaînes a donc le même poids à tirer ; elle s'enroule supérieurement sur un treuil à noix, mû par des engrenages commandés par une vis sans fin recevant elle-même son mouvement d'un engrenage conique porté sur un arbre qui règne sur toute la longueur du slip.

Comparaison des deux systèmes. — Sur les cales en long, les navires halés ne s'appuient que peu à peu sur le ber ; la partie postérieure est pendant tout ce temps soumise à une contre-poussée.

Cette force et le poids du navire tendent tous deux à appuyer contre

le ber, la partie avant de la quille ou *brion*, et par conséquent à la fatiguer. Cet inconvénient est plutôt théorique que pratique, car on n'a jamais eu d'accident à constater de ce chef.

L'emploi des cales en long est impossible dans les ports dont la profondeur n'est pas suffisante.

La différence entre les hautes mers de vive et morte eau, à Rouen, est de 90 *cm* ;

Donc, la formule :

$$L = \frac{d+h}{\operatorname{tg} \alpha} + l$$

pour $c = 90$ *cm* ; $h = 3$ mètres ; $l = 90$ mètres ; $\operatorname{tg}\alpha = 0{,}05$ donne $L = 168$ mètres sans tenir compte de la hauteur du ber. Or, avec cette longueur, la plateforme de l'avant-cale devrait atteindre 8,40 *m*, tandis que la Seine n'offre là que 7,80 *m* d'eau.

En pareil cas, le slip en travers est indiqué.

BASSINS DE RADOUB

On donne le nom de *bassin de radoub*, *forme de radoub* ou *cale sèche* à un réservoir communiquant avec le port et qui est asséché après avoir reçu un navire à réparer. Il est isolé par une porte étanche.

Les Anglais donnent au bassin de radoub le nom de *dry dock* et même par abréviation de *dock*, comme au bassin à flot.

Il comprend deux parties : la *chambre d'entrée* destinée à la manœuvre de la porte et la *forme* proprement dite.

Chambre d'entrée. — C'est une véritable écluse simple. Comme celle-ci, elle est soumise aux conditions concernant la hauteur du seuil, la longueur et la largeur, l'épaisseur et la forme du radier, etc. Elle en diffère pourtant sur quelques points.

L'organe essentiel de la chambre, celui dont dépend surtout le mode de construction des autres parties, c'est la porte. Elle est parfois identique à celle des écluses ordinaires (Alexandra dock de Hull, toutes les formes d'Anvers, la plupart de celles de la Tyne et d'autres encore en Angleterre). En France toujours, et le plus souvent aussi en Angleterre, la fermeture s'opère par un caisson appuyé contre une feuillure ménagée dans le radier et les bajoyers.

Radier de la chambre. — Si la fermeture se fait par le moyen des portes ordinaires d'écluses, le radier est nécessairement plat. Il en est de même au cas d'emploi des caissons roulants ou glissants; mais avec les caissons flottants dits *bateaux-portes*, ils peuvent être courbes.

Comme dans les écluses, la profondeur du radier doit dépasser de 30 *cm* le tirant d'eau des plus forts bâtiments reçus ; mais ici le tirant d'eau s'entend du navire lège, car on le décharge avant de le faire entrer à la forme.

Certes il est parfois utile de recevoir au bassin, et tout chargé, un bateau coulant bas d'eau ou auquel au moment du départ il survient une avarie, comme la rupture d'une branche de l'hélice. Mais ces cas très rares ne justifieraient pas, si ce n'est dans un très grand port, les dépenses supplémentaires, toujours considérables, qu'entraîne l'abaissement du seuil.

Le profil longitudinal du radier de la chambre d'entrée est plan dans tous les cas, puisque la quille le franchit dans son entier.

Le radier de la chambre d'entrée est semblable à celui des écluses, quand la fermeture se fait au moyen de portes ordinaires; le bateau-porte exige au contraire des dispositions spéciales. En plan, le bateau représente un ovale très allongé terminé par une quille inférieure et deux quilles latérales, qui s'appuient contre des pièces de bois ou fourrures. Celles-ci sont disposées dans des feuillures qui seront décrites ci-après.

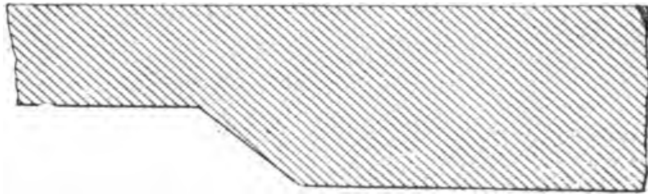


Fig. 297. — Consolidation du radier.

On ménage souvent deux feuillures, espacées de 5 mètres ; l'extérieure sert comme en-cas lorsque l'autre, qui reçoit ordinairement le caisson de fermeture, a besoin de réparation. Elle permet aussi d'allonger éventuellement de 5 mètres la forme pour permettre l'entrée d'un grand navire

La portion du radier entre les deux feuillures recevant alors des tins, son niveau est le même que celui du radier de la forme.

Au bassin de radoub d'Halifax, pour donner à l'occasion à la forme toute la longueur possible, le bateau-porte peut même s'appliquer contre le parement extérieur du musoir de bajoyer, garni d'une fourrure.

Plus encore qu'aux radiers d'écluses il est important de prendre les dispositions voulues pour arrêter toute infiltration d'eau; les parties renforcées en dessous se raccorderont avec les autres ainsi que l'indique la figure 297.

Forme. — La longueur de la forme proprement dite est celle des plus grands navires qui fréquentent le port; elle est donc supérieure à celle du sas des écluses, que ces bâtiments peuvent traverser toutes portes ouvertes.

La largeur est celle du maître-couple du navire, augmentée de deux à trois mètres de chaque côté, afin de faciliter le travail des ouvriers. Il n'en faut pas autant à la chambre d'entrée : deux mètres de plus en tout suffisent à y assurer le passage.

Les murs sont élevés assez haut pour n'être jamais débordés par la marée.

Profil en travers. — Afin de diminuer le cube des ouvrages et aussi le volume d'eau à épuiser à chaque opération, le profil intérieur de la forme épouse le plus exactement possible celui du bâtiment. Aussi les

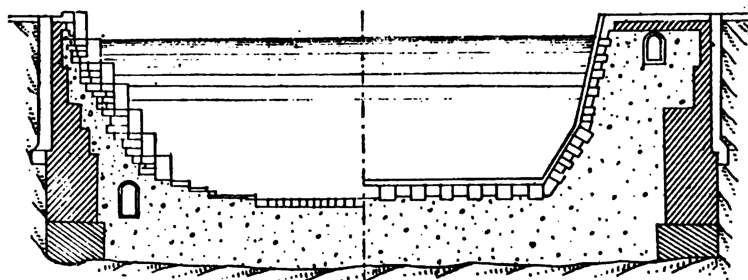


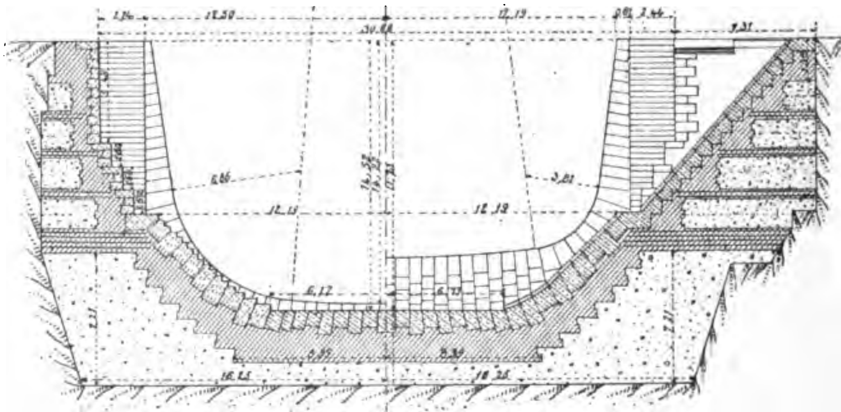
Fig. 298. — Cale de radoub de la Spezia.

anciens bassins étaient-ils naturellement plus larges à la partie supérieure qu'à la base. Aujourd'hui la section des navires est rectangulaire ou même élargie au fond, mais on ne saurait en faire autant pour la forme. Il est nécessaire, en effet, d'assurer l'accès du jour, de l'air qui sèche les carènes. L'élargissement au sommet permet encore aux ouvriers de travailler à des étages différents.

L'évasement s'obtient par la construction de gradins, qui donnent aux bajoyers l'apparence d'escaliers (fig. 298).

Gradins. — La hauteur et la situation des gradins ne sont pas indifférentes ; ils servent en effet de points d'appui aux *épontilles*, pièces de bois posées à peu près horizontalement, qui accorent le navire et le maintiennent vertical. Une rangée d'épontilles au niveau du pont supérieur est indispensable et généralement suffisante ; si donc tous les navires reçus étaient pareils, un seul gradin pourrait être établi à cette hauteur ; mais la diversité des types oblige à en disposer deux ou trois.

Dans les ports pourvus de plusieurs cales, elles peuvent avoir des dimensions différentes et ne recevoir chacune que des bâtiments égaux ; il est possible alors de diminuer le nombre des gradins. A Saint-Nazaire, l'emploi pendant sept années de l'écluse de Penhouët comme forme provisoire ayant indiqué l'avantage de murs sans retraits, comme il y avait trois cales à construire, on n'a conservé dans chacune qu'une seule banquette à 4,20 *m* au dessous du couronnement. A la Pallice, il y en a deux et aux formes nouvelles du Havre trois, également espacées.



Demi-section à travers les gradins. Demi-section à travers les glissières.
Fig. 299 — Portsmouth.

En Angleterre, au contraire, les gradins sont en général multipliés ; quelques ingénieurs pourtant en ont réduit aussi le nombre (fig. 299).

Les banquettes servent à la circulation ; quand il n'y en a que peu, leur hauteur au-dessus du fond est assez grande et leur largeur doit

être suffisante afin d'éviter tout accident; on lui donne un mètre. Pour la même raison, on incline les bajoyers en dehors de 1/8 environ. Si elles sont nombreuses, il n'y a rien à craindre et on les établit très étroites, afin de ne pas trop évaser les profils, encore trop larges malgré cette précaution.

Epontilles. — L'accorage d'un bâtiment exige parfois plusieurs rangées d'épontilles. Alors, s'il n'existe qu'une banquette comme à Saint-Nazaire, le pied des épontilles est appuyé sur des madriers fixés horizontalement le long des bajoyers ou sur un échafaudage volant suspendu à la hauteur voulue. Il faudrait, pour justifier le surcroît de travail et par conséquent de dépense occasionné par ces installations provisoires et chaque fois répétées, que la présence des gradins fût réellement une gêne bien grande, fait qui n'est pas établi. Aussi dans les nouvelles constructions dispose-t-on plusieurs banquettes.

Les parties basses de la carène sont supportées par des poteaux presque verticaux qui s'appuient contre des ressauts ménagés le long des côtés du radier.

La longueur des épontilles ne dépasse pas 4 à 5 mètres ; au delà, elles seraient trop difficiles à manier.

Radier de la forme. — La quille ne repose pas directement sur le radier ; elle est supportée par une rangée de pièces appelées *tins*, espacées de un à deux mètres et dont la hauteur est d'environ un mètre. Leur ensemble s'appelle l'*attinage*. Le navire, après avoir traversé la chambre d'entrée, continue sa marche jusqu'au fond de la forme, au-dessus des tins, dont la face supérieure doit par conséquent être à la même hauteur que le radier de ladite chambre. Il en résulte que le radier de la forme proprement dite se trouve à un mètre plus bas.

Mais il peut n'être pas horizontal. Le tirant d'eau des navires est plus fort à l'arrière qu'à l'avant ; la ligne de flottaison étant de niveau, la quille possède donc une inclinaison. Si le bâtiment entre toujours par l'avant dans la cale, on peut donner aux surfaces supérieures de l'attinage un profil longitudinal ayant la même inclinaison ; et comme tous les tins ont la même hauteur, c'est le radier qui recevra, de l'amont vers l'aval, une pente égale à la différence des tirants d'eau.

Rigole. — Il a également une pente transversale pour l'écoulement des eaux d'infiltration ou de lavage. Elles sont réunies dans une rigole

longitudinale centrale ou dans deux latérales, qui les dirigent vers un puisard situé près de l'entrée et que vide une pompe spéciale.

La rigole centrale a l'avantage d'augmenter l'espace sous la quille dont les réparations sont ainsi facilitées et de concentrer le nettoyage en un seul point ; mais les caniveaux latéraux retiennent mieux les eaux d'infiltration des bajoyers, celles qui se déversent par hasard de l'extérieur ; elles arrêtent les objets qui tombent des échafaudages, éloignent des tins les causes d'humidité, etc. Aussi les préfère-t-on aujourd'hui. Les tins sont établis sur une plateforme centrale, et une double pente de 2 °/₀ s'incline vers les rigoles dont les dimensions sont de 40 à 60 *cm* de largeur sur 20 à 30 *cm* de profondeur.

Epaisseur du radier. — L'épaisseur du radier se détermine comme pour les écluses. A Barry, sa largeur atteint 30 mètres et aurait exigé une épaisseur considérable pour résister à la sous-pression. Dans le radier et les bajoyers on a ménagé des drains permettant l'entrée dans la forme des eaux sous-jacentes qui sont enlevées par une pompe.

La fondation a pu ainsi être rendue plus légère. Le sol de fondation est de la marne rocheuse à travers laquelle les infiltrations sont minimes; dans des terrains perméables et très aquifères, le succès du procédé serait douteux.

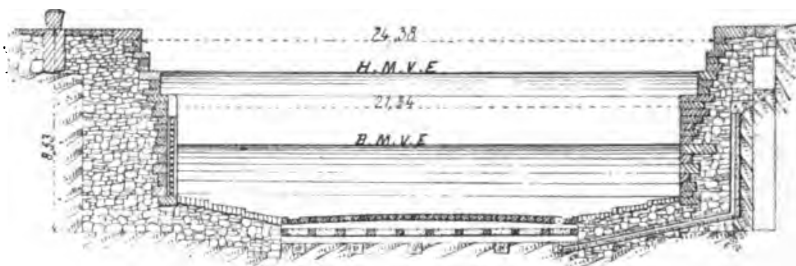


Fig. 300. — Forme de Gravel dock, Greenock.

Une disposition analogue a été employée à la forme de Gravel, à Greenock (fig. 300).

Formes segmentées. — La longueur des formes étant prévue pour les plus grands bâtiments est donc trop considérable pour la plupart de ceux qui fréquentent le port. On la partage souvent en deux parties par des caissons intermédiaires, afin de recevoir en même temps deux petits navires et en tout cas de diminuer le volume d'eau à

épuiser, si l'on n'en a qu'un à réparer. Les deux divisions sont en général inégales, pour répondre à toutes les exigences. A l'Alexandra dock de Belfast, la division est même triple, ce qui donne cinq combinaisons différentes de longueurs.

Dans ce cas, le niveau des tins doit être horizontal, si ce n'est dans la chambre du fond, car le bâtiment qui se rend à ce compartiment passe sur tout le reste de l'attinage. Mais alors le radier étant également de niveau, la pente des rigoles d'assèchement doit être prise sur l'épaisseur de la fondation; il y a donc intérêt à diminuer leur longueur, ce qui nécessite l'emplacement du puisard vers le milieu de la cale, avec pente des caniveaux en sens inverse.

Quelquefois dans les formes simples, la pompe ne peut, par suite de conditions locales, être située près de l'entrée ; le radier est alors construit horizontal; la pente de la rigole, prise sur l'épaisseur de la fondation, est dirigée vers l'amont.

Il faut être très circonspect sur l'emploi des formes segmentées et ne jamais sortir du programme suivant :

Construire le bassin pour le plus grand navire prévu (déjà construit ou à construire dans un avenir rapproché) et l'utiliser au mieux pour les plus petits.

L'Alexandra dock de Belfast a 244 mètres de longueur sur seulement 15,25 *m* de largeur au radier. On n'y pourrait donc guère recevoir un navire de plus de 150 mètres. Pour un port ordinaire, ce modèle ne serait par conséquent pas à imiter; il a été proportionné aux besoins de la ville qui est avant tout un grand chantier de construction de bâtiments de dimensions moyennes. Dans le compartiment du fond sont confinés les bateaux auxquels il faut des réparations qui exigent beaucoup de temps, comme un allongement. Ils peuvent attendre la réparation plus rapide de ceux qui sont placés derrière eux.

Il existe même à l'étranger une cale sèche divisée en deux chambres dont celle du fond, projetée pour les petits navires, est de moindre largeur que l'autre. La longueur totale ne peut donc être utilisée pour les grands bateaux; d'autre part les petits, enfermés dans le compartiment du fond et dont les réparations se font cependant plus vite, sont inutilisés tout le temps que la chambre d'aval est occupée. Il s'agit pourtant d'une cale militaire. Il eût été plus pratique en même temps que plus économique d'accoler les deux bassins.

Lorsque, grâce à la disposition des lieux, une forme peut avoir une

entrée à chaque extrémité, la segmentation n'offre que des avantages (bassins du Salou à Brest, de Tilbury, de Dunkerque).

Tins. — Ils sont d'ordinaire en bois ; leur espacement est de deux mètres pour les voiliers, d'un mètre et même moins pour les lourds vapeurs. Si le bassin est appelé à recevoir des navires exceptionnellement chargés, il est nécessaire de se rendre compte des portions les plus exposées et d'y rapprocher les tins.

L'espacement des tins dans les cales d'Anvers est de 1,30 *m*. Au Havre, dans la forme qui reçoit les transatlantiques, on a dû réduire l'espacement à 65 *cm* sur une longueur de 50 mètres vers le milieu, qui est l'endroit le plus chargé.

Tins en bois. — Les tins sont composés de trois pièces de chêne de 35 *cm* de côté, superposées. L'inférieure, longue de 3 mètres et fortement fixée au radier par deux boulons, a ses extrémités calées par des dés en pierre. Celle du milieu a 2 mètres et la supérieure 1 mètre. Celle-ci est partagée en deux parties par un joint longitudinal oblique ; les deux moitiés peuvent, en glissant l'une sur l'autre, être exhaussées et s'adapter exactement sous la quille.

Les trois pièces sont liées par une écharpe clouée sur leurs faces verticales et qu'on détache pour le serrage des coins. Deux tins successifs sont maintenus écartés par une double croix de Saint-André.

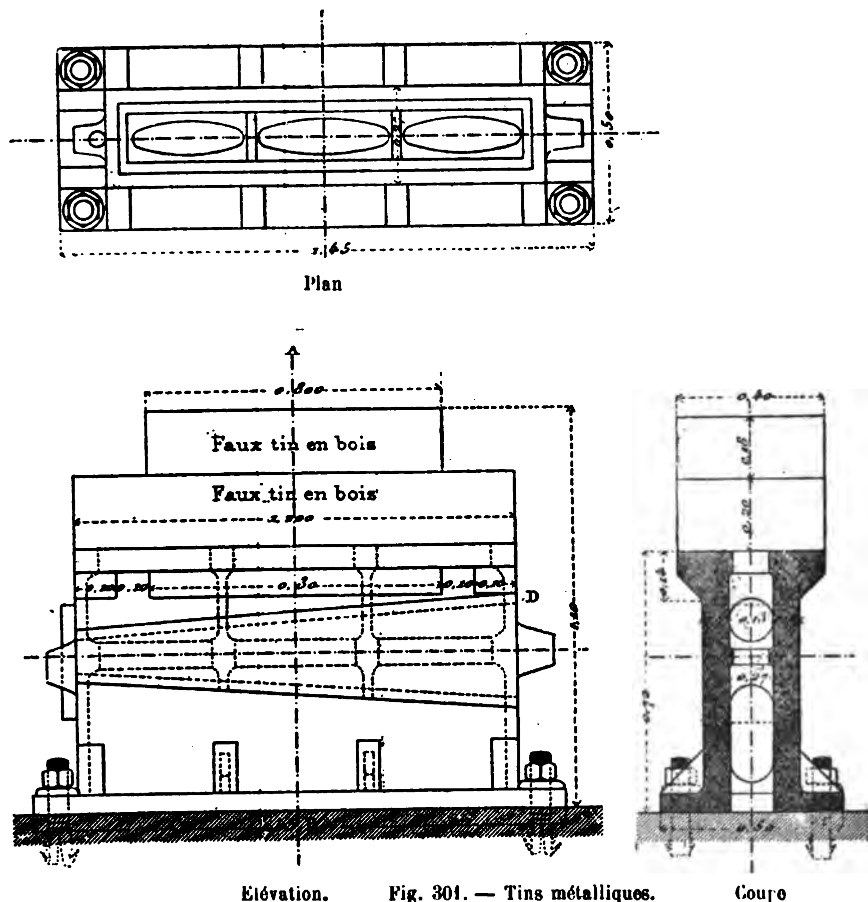
Tins métalliques. — Les tins en fonte sont d'un meilleur usage (fig. 301). Ils sont également constitués par trois pièces, toutes taillées en coin ; l'ensemble est exhaussé ou abaissé par le glissement de la pièce centrale. On a ainsi la faculté de pouvoir visiter la quille au droit d'un tin abaissé.

La hauteur de l'ensemble de l'attinage peut encore être diminuée par le retournement de la pièce supérieure ; cette disposition permet de recevoir un navire de forte calaison dont le fond n'a pas besoin d'être visité.

La face sur laquelle s'appuie la quille reçoit une fourrure en bois qui est remplacée en cas d'usure. La pièce inférieure est boulonnée dans le radier ; les autres s'emboîtent réciproquement.

Les tins en fonte sont plus coûteux, mais plus durables ; ceux de l'Hamilton dock sont en service depuis plus de trente ans. Si les faces

en contact sont trop polies, il se produit un glissement qu'on arrête par une cheville d'arrêt.



Elévation. Fig. 301. — Tins métalliques. Coupe

Fosse à gouvernail. — Au milieu de la largeur du radier, près de la chambre d'entrée, il est utile de creuser une fosse dans laquelle descend le gouvernail qui peut ainsi être enlevé et réparé; le radier est légèrement renforcé en ce point. La forme de la fosse est souvent celle d'un demi-cercle accolé à un court rectangle, ou d'un cercle entier; une largeur de 4 mètres est suffisante. La profondeur de 3 mètres à 4 mètres suffit aussi pour que le gouvernail des plus grands vapeurs se dégage de la jaumière; à l'Alexandra dock elle est de 6 mètres, dimension qui semble exagérée.

Si à l'occasion la forme est allongée par le placement du bateau-porte contre la feuillure extérieure, il faut une seconde fosse dans l'espace

ajouté; cette nécessité a été reconnue à Marseille après l'achèvement de la forme n° 1.

A Calais, la deuxième fosse a été prévue dans le projet et construite avec l'ensemble.

A la Pallice, la fosse à gouvernail est située à l'extrémité amont : cette disposition exige l'entrée du navire par l'arrière et l'horizontalité du radier; mais elle rend en tout cas une seconde fosse inutile.

Elle n'a pas été imitée.

Au nouveau bassin de Missiessy on n'a pas jugé utile la fosse à gouvernail, à Barry non plus.

Murs. — En plan la chambre intérieure de la cale est rectangulaire, avec l'extrémité d'amont terminée le plus souvent par un demi-cercle. A Cherbourg, l'hémicycle est gothique, à Toulon et Halifax elliptique, formes qui semblent plus rationnelles comme épousant mieux celle de l'avant des navires.

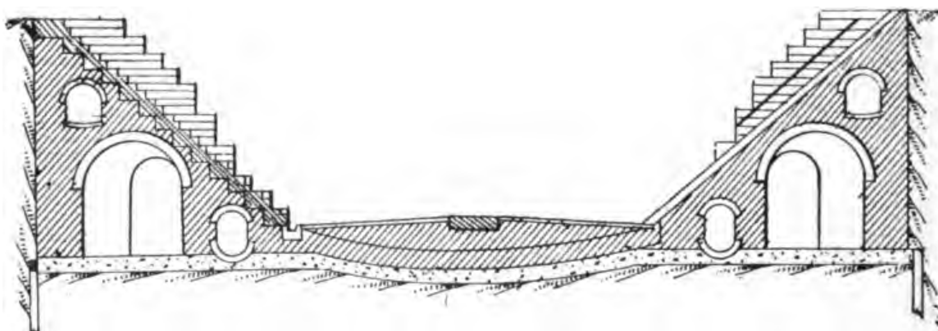


Fig. 302. — Anvers. — Coupe du bassin.

Au bassin de Wivenhoe, construit spécialement pour les yachts, l'hémicycle est complètement modelé sur la forme effilée de l'étrave de ces bâtiments. A Saint-Nazaire, il figure un demi-hexagone.

Les murs sont parfois évidés, par économie, comme à Anvers (fig. 302).

Escaliers. — On place sur les parements intérieurs des bajoyers des escaliers en pierre, qui descendent d'un gradin à l'autre; la marche a 20 *cm* de hauteur et la contre-marche 30 *cm* de largeur. Sur chaque banquette est ménagé un palier et l'escalier reprend au-dessus de la banquette suivante.

Les marches de la dernière volée, entre le gradin inférieur et le radier,

empiètent sur la chambre de la forme. Il y a généralement quatre escaliers, deux de chaque côté ; mais on en trouve six et même huit. Les volées différentes se continuent; rarement leur inclinaison en sens inverse force à revenir sur ses pas. A Saint-Nazaire où il n'existe que deux escaliers vers l'entrée, la volée supérieure est continue par deux autres en sens inverse.

Glissières. — On dispose encore parfois dans les bajoyers des plans inclinés sur lesquels descendent les bois, tôles, etc. destinés aux travaux. Aux nouvelles cales du Havre il y en a trois, deux dans le bajoyer sud et un à l'extrémité de l'hémicycle, des raisons locales ayant empêché d'en placer dans l'autre bajoyer; leur inclinaison est de 3 de base pour 2 de hauteur.

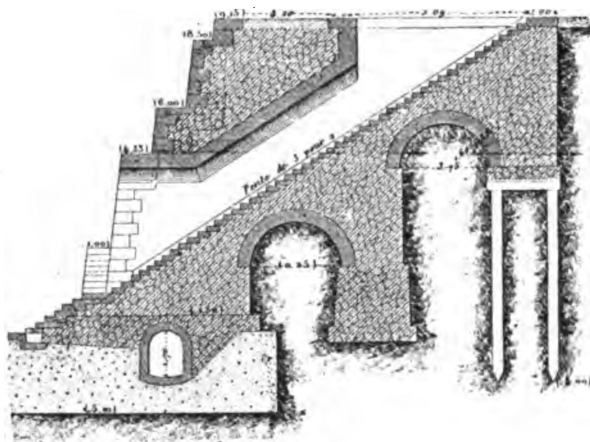


Fig. 303. — Forme n° 5 du Havre. — Coupe d'une glissière.

La chute des objets est modérée par la disposition de l'extrémité inférieure des glissières terminée par une surface courbe de 4 mètres de rayon.

Pour ne pas interrompre la circulation sur le couronnement des bajoyers, les plans inclinés latéraux sont couverts d'une voûte, laissant un passage libre de 1,90 *m* au-dessus des escaliers placés de chaque côté et d'où les ouvriers guident les matériaux dans leur descente (fig. 303).

Au Havre la glissière de l'hémicycle n'est pas recouverte; on peut, à l'occasion, engager entre ses parois, distantes de 3,30 *m*, l'étrave et le

beaupré d'un navire, de sorte qu'il en résulte une véritable augmentation de la longueur de la forme.

En Angleterre, les plans inclinés n'existent que rarement (Portsmouth) ; les matériaux sont descendus par les grues de service qui fonctionnent sur des rails placés le long du couronnement des bajoyers.

Sur le terre-plein étroit qui sépare les deux bassins de Langton dock à Liverpool, sont posés trois rails dont un central et deux bordant l'arête des cales. Il y circule une grue hydraulique de 30 tonnes dont une roue fonctionne sur le rail central et l'autre sur l'un des rails latéraux. Une plaque tournante permet de la faire passer de l'un à l'autre et de desservir ainsi les deux bassins.

Hiloires. — Le long des arêtes des formes de radoub on installe parfois des hiloires ou parapets pleins, non seulement pour empêcher les chutes, mais encore pour permettre d'accrocher les amarres et les chevalets d'appui des épontilles lorsqu'ils sont nécessaires comme à Saint-Nazaire. A cet effet, les hiloires des cales de ce port portent alternativement des boucles et des crochets.

Les autres accessoires des bassins de radoub sont des boucles verticales à œil de 4 *cm* de diamètre, disposées sur les bajoyers à un mètre au-dessus de la banquette et espacées de 3 mètres, des bollards et canons d'amarrage et les divers organes qui se rencontrent sur les quais.

Matériaux. — Les cales de radoub se font presque toujours en maçonnerie de moellons, sauf aux parties exposées construites en pierres de taille. La maçonnerie exige un soin tout particulier; les pierres doivent être bien encastrées dans le mortier, dont la proportion doit être du tiers à la moitié du volume. Les variations de pression déterminent dans les massifs des mouvements qui tendent à agrandir et à réunir les cavités, difficiles à éviter. Il en résulte souvent des infiltrations.

En Angleterre on emploie beaucoup la brique ; elle a été adoptée pour la première fois au bassin n° 2 de Southampton.

En Allemagne, l'usage de la pierre est rare ; celui de la brique était général ; mais on tend à ne plus se servir que du béton.

Les figures 304 se rapportent à la forme en béton de Wallsend et les figures 305 au bassin de Newport.

Le radier du bassin de radoub de Bordeaux est composé de risbermes

en maçonnerie placées sur le gravier au pied des blocs de fondation, et d'une couche de béton à chaux du Teil. Les risbermes étaient destinées à prévenir le glissement des blocs sous l'action de la poussée des terres pendant l'achèvement des déblais de l'enceinte.

Plan.

Coupes.

Fig. 304. — Forme de Wallsend.

Fig. 305. — Coupes de la forme de Newport.

Le béton a été coulé à sec en une seule couche; on enlevait par une pompe les eaux d'infiltration qu'une rigole amenait dans deux blocs. Après la construction du radier et des revêtements, on laissa entrer l'eau; mais quand on l'épuisa ensuite, des fissures se produisirent dans le radier et des sources abondantes firent irruption. Les pierres d'attente des tins furent soulevées de 6 *cm*. On dut enlever le revêtement en pierre, réparer le béton, ramasser toutes les sources dans des tuyaux en grès mis en communication avec des tubes verticaux, remettre le pavé et couler dans les tuyaux un coulis de ciment qui suffit pour étancher. Une seconde fois, une nouvelle source se produisit, qu'on ferma de la même manière, et depuis aucune ne s'est plus manifestée.

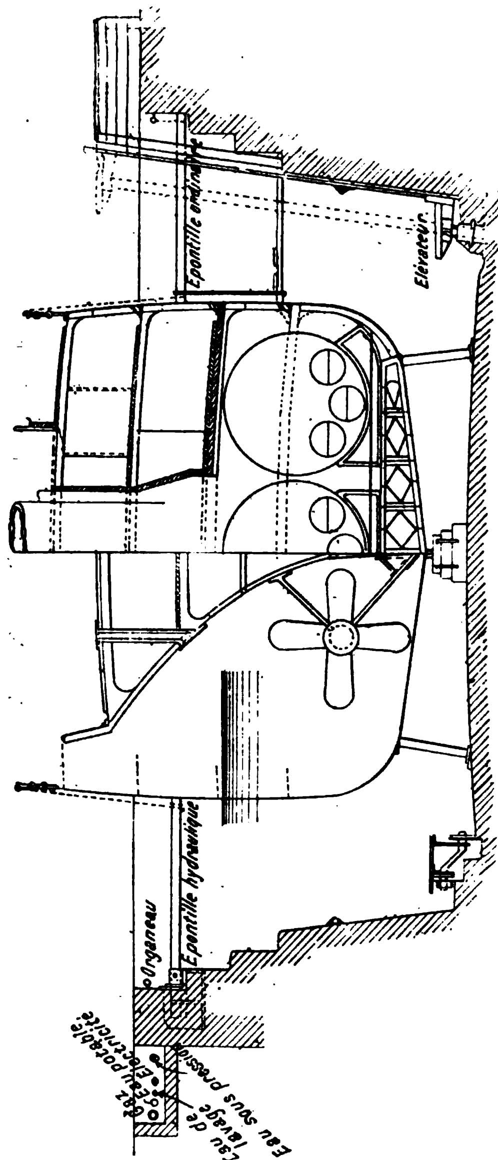


Fig. 306. — Cale de radoub type.

Bassin de radoub type. — La figure 306, empruntée à M. Redman, de la Société des Ingénieurs civils de Londres, donne la disposition générale d'un bassin-modèle.

Quatre épontilles, placées par paires et manœuvrées par un cylindre hydraulique, accorent le navire de chaque côté; cette précaution est très utile en cas de grand vent; les autres étais se composent de pièces de bois ordinaires.

On voit sur la gauche les diverses conduites de gaz, d'eau, etc.

Des monte-charges descendent les pièces nécessaires ; un petit chariot les transporte à pied d'œuvre.

On remarquera que les gradins sont peu nombreux et que les murs ne présentent qu'une faible inclinaison. Les rigoles sont latérales.

Vidange et remplissage de la forme. — Pour remplir la forme, on ménage le plus souvent dans chacun des bajoyers, en France tout au moins, un aqueduc qui amène l'eau extérieure. Aux formes 5 et 6 du Havre ces aqueducs, de 1,20 *m* de diamètre, sont situés à la cote +2,35 *m*; ils sont munis de vannes de manœuvre nécessaires.

En Angleterre, on n'emploie guère ces aqueducs de remplissage, auxquels on reproche leur prix élevé ; ils sont remplacés par de larges ouvertures pratiquées dans la porte de la forme et qui se ferment au moyen de vannes ou ventelles. A Saint-Nazaire, les aqueducs n'existent que pour la forme n° 1, qui a 185 mètres de longueur sur 25 mètres de largeur ; ces aqueducs ont 2,50 *m* de hauteur sous clef, ils sont voûtés en plein cintre de 1,50 *m* de diamètre ; leur radier est à 6,10 *m* au-dessous du couronnement. Pour les autres formes, moins considérables, bien que le n° 3 mesure 164 × 18 mètres, le remplissage n'a lieu aussi que par les vannes des bateaux-portes.

Dans les ports à très grande marée, on peut vider complètement le bassin de radoub en conduisant l'eau à l'extérieur, au moment de la basse-mer, par un aqueduc débouchant au-dessous du seuil.

C'est ainsi qu'on opère à Granville.

Les formes de Langton dock, à Liverpool, sont de même vidées dans le bassin ouvert du Canada par des aqueducs de 1,50 *m* de diamètre ; mais les marées de morte eau ne permettent pas la vidange complète et l'on a alors recours à des pompes d'épuisement. Ce sont celles-ci également qui assèchent la cale quand le navire doit sortir durant la marée haute.

Là où l'amplitude de la marée est ordinaire, on ne s'astreint pas même à attendre l'heure de la basse mer pour vider une partie de l'eau ; dans ce cas, comme dans les ports sans marée, l'assèchement s'opère entièrement par les pompes. L'eau s'écoule par un aqueduc muni de vannes, situé à un niveau inférieur à celui du radier général, jusqu'à un puisard d'où elle est enlevée par les pompes.

Quand la forme est segmentée, la première chambre est remplie par

un aqueduc débouchant à l'extérieur et des aqueducs semblables réunissent les autres chambres derrière les enclaves des portes intermédiaires. De même, des tronçons d'aqueducs partent de chaque chambre et se réunissent en une seule galerie, qui se rend au puisard des pompes. Tous ces aqueducs sont munis de vannes, manœuvrées par des vis verticales.

Fermeture. — Ainsi qu'il a été dit, la fermeture des cales sèches se fait quelquefois par des portes d'écluses ordinaires; c'est un système encore très employé en Angleterre. La manœuvre est rapide, point important quand il ne s'agit que d'une simple visite à un navire; on a vu, dans un bassin muni de portes, trois navires passer en une seule journée, ce qui aurait été impossible avec un caisson. Le prix des portes est aussi moindre.

On reconnaît aux caissons l'avantage d'exiger moins de longueur à la maçonnerie, car ils se logent d'ordinaire non dans la chambre d'entrée, mais au dehors; ils donnent une fermeture plus étanche, ne sont pas gênés par la vase qui s'accumule dans la chambre d'entrée, servent de ponts pour le passage des routes ou même des voies ferrées, et enfin sont facilement visités sur leur face qui se trouve à sec dans le bassin; en tout cas, on peut les abattre en carène ou les réparer dans une autre forme ou sur une cale de halage.

Cependant, pour les cales qui débouchent dans un avant-port exposé à des vagues, les portes d'écluses sont plus sûres. Au nouveau bassin de Newport sur l'Usk, la fermeture se compose d'une double paire de portes, l'une d'ebbe, l'autre de flot.

Anvers. — A Anvers aussi les bassins de radoub sont munis de portes busquées. Dans les anciennes portes de la grande cale sous la pression de l'eau les entretoises avaient pris une courbure permanente; aussi ont-elles été renforcées dans les nouveaux vantaux.

Les six entretoises inférieures sont doubles, cinq d'entre elles ont 815 *mm* de hauteur, l'inférieure 915 *mm*; les supérieures simples ont 400 *mm*. Elles se composent de deux pièces droites et de deux courbes; leur largeur maxima est de 800 *mm*; la traverse inférieure a 900 *mm*. Les pièces doubles sont consolidées par des poutrelles en fer composées d'une âme, de quatre cornières et de deux semelles. La hauteur de la poutrelle est égale à la largeur de l'entretoise; la semelle a 300 *mm*.

La figure 307 indique le mode de construction des portes des nouvelles formes, établies sur le type précédent; elles ont 8,64 *m* de longueur sur 6,41 *m* de hauteur.

Les poteaux tourillon et busqué ont 50×50 *cm*; les moises verticales 23×40 *cm*; tout est en chêne.

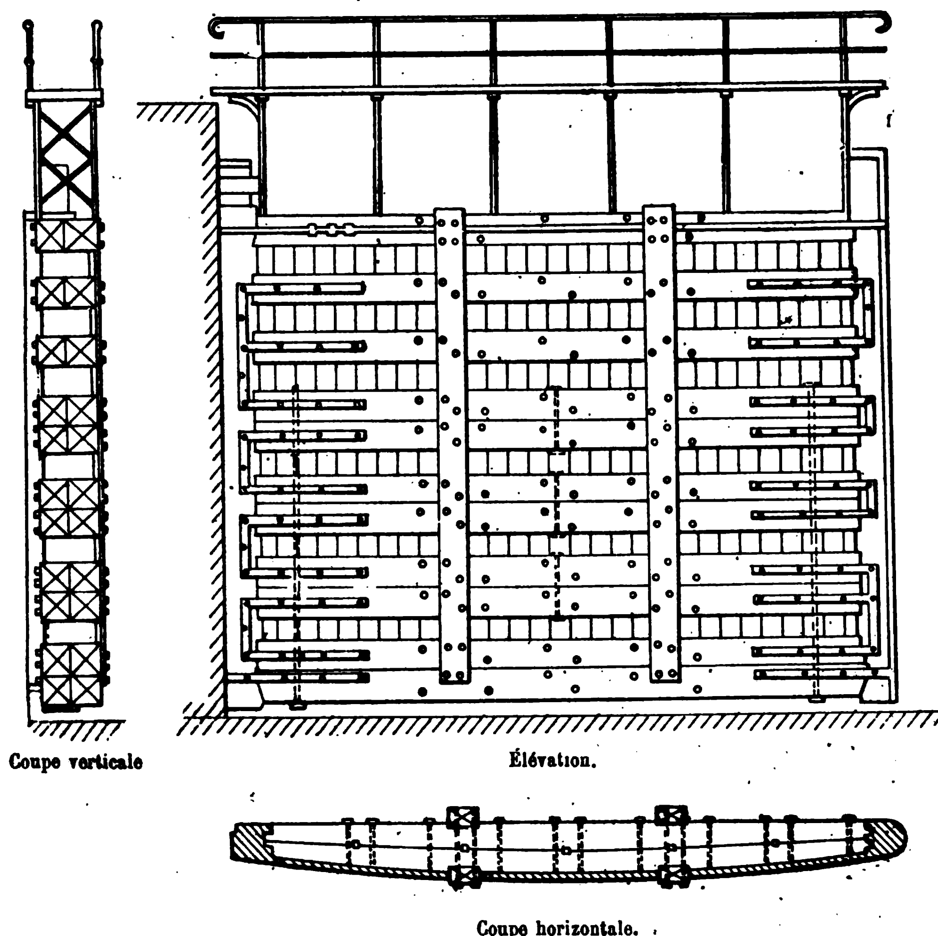


Fig. 307. — Porte des nouvelles cales sèches d'Anvers.

Il y a sept entretoises; les quatre inférieures sont doubles, et les trois supérieures simples; leur plus grande largeur est 690 *mm*, sauf les extrêmes qui ont 750 *mm*. Le bordage d'amont a 750 *mm* d'épaisseur. Les assemblages sont consolidés aux poteaux par des ferrures en U de 1,50×1×0,02 *m*. Un tirant horizontal embrasse la partie supérieure et empêche la déformation du cadre.

Bateaux-portes. — C'est le système le plus usité; il est l'unique en France.

Le bateau-porte est un caisson étanche qu'on peut à volonté remplir d'eau pour le fixer devant le bassin, ou le vider et le rendre léger afin de le déplacer. La quille et les côtés ou étambots sont plans, pour s'appliquer contre les rainures pratiquées dans le radier et les bajoyers de la chambre d'entrée. Les surfaces de contact sont garnies de madriers recouverts de paillets en cordages goudronnés ou en étoupe, afin de mieux assurer l'étanchéité.

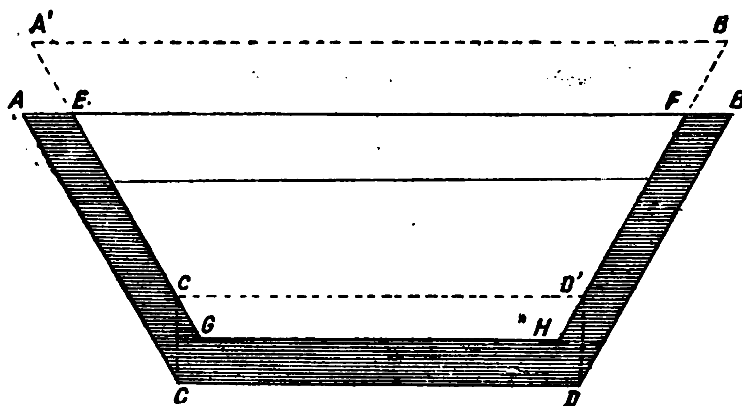


Fig. 308. — Schéma du bateau-porte.

La rainure complète est un fossé rectangulaire, dans lequel s'emboîtent les bords plats du bateau. Or, celui-ci ne peut avoir que des mouvements verticaux d'ascension et de descente; ses déplacements ne sont donc possibles que si les bajoyers sont inclinés. Soit ACDBFHGE la rainure, la porte d'abord en ABCD ne se dégage que lorsque, en montant, la quille CD a dépassé la position C'D'. La hauteur CC' sera en raison inverse de l'inclinaison de AC, qui s'élève en conséquence à $\frac{1}{4}$ et même $\frac{1}{3}$ (fig. 308).

Bateau-porte de Marseille. — Il a été étudié spécialement en vue d'une mer dont le niveau varie peu. Il se compose de deux caisses ou flotteurs C et B d'inégale largeur séparées par un pont étanche dit pont de ressaut. La première est lestée à sa base de gueuses de fonte dont le poids est insuffisant pour maintenir la stabilité du système flottant et pour que la ligne d'eau ou plan de flottaison normale, lorsque les

deux caisses sont vides, se trouve un peu au-dessous du pont de ressaut, à une distance légèrement supérieure à CC' de la figure 308.

Le flotteur C contient deux réservoirs étanches A, placés symétriquement un peu au-dessous du plan de flottaison normale; ils communiquent avec l'air par un petit tube, et avec le bassin de radoub par un tuyau inférieur muni d'un robinet R. La somme des volumes de ces caisses est plus grande que le volume de la partie du réservoir C comprise entre le plan de flottaison et le pont (fig. 309).

Le flotteur B peut être rempli ou vidé par les tuyaux T commandés par les soupapes à vis S.

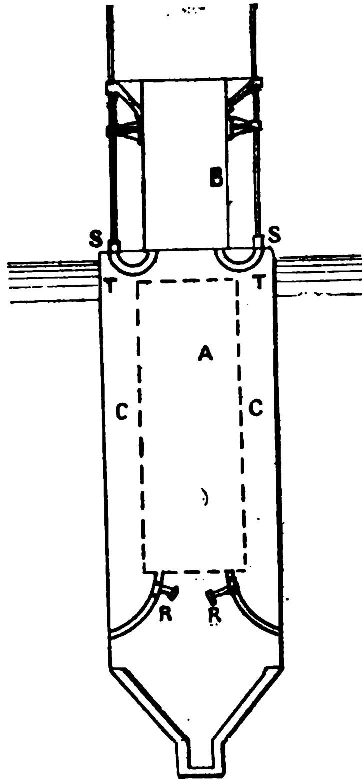


Fig. 309.

Echouage. — Le bateau vide étant amené au-dessus des rainures, l'ouverture des robinets R détermine le remplissage des réservoirs A et la porte s'immerge jusqu'au-dessous du pont. L'eau est alors introduite dans le flotteur B par les tuyaux T et il en résulte l'échouage complet dans les enclaves.

Mise à flot. — Les réparations du navire étant terminées, on remplit la forme par de grandes vannes qui existent dans le bateau-porte. Avant que l'eau n'atteigne le bas des réservoirs A, ceux-ci sont vidés dans la forme et les robinets sont refermés. De même, avant que le niveau de l'eau n'arrive à la hauteur du pont, on évacue lentement le lest liquide du flotteur B. Le bateau délesté se soulève peu à peu. Le remplissage de la forme s'effectue donc sans secousses nuisibles au navire.

La ligne de flottaison, pendant l'immersion, est à la hauteur LF, et elle vient à la surface après l'émersion. La hauteur h dont elle a monté est la distance dont il faut que le bateau se soulève pour sortir des rainures; elle doit être un peu plus grande que la longueur CC' de la figure 308. On lestera en conséquence; bien entendu, le niveau de

l'eau au-dessous duquel se fixera le plan de flottaison est celui des plus basses mers, afin de pouvoir manœuvrer en toute circonstance. Pour un niveau plus élevé, la porte se soulèvera plus vite, mais les différences sont assez petites dans la Méditerranée pour qu'il n'y ait aucun inconvénient.

Nouvelles formes du Havre. — Aux nouvelles formes du Havre, les bateaux-portes sont divisés à la hauteur de la pleine mer de morte eau par une cloison horizontale étanche ; la caisse supérieure est toujours vide ; l'inférieure ou cale peut être remplie ou vidée par quatre bondes placées à 1,35 *m* au-dessus de la quille ; elle est lestée de gueuses de fonte comme à Marseille.

L'échouage s'effectue par l'introduction d'un volume d'eau. Le bateau est alors fixé et la cale vidée. Pour l'émersion, on la remplit de nouveau jusqu'à une certaine hauteur qui dépend de l'état de la marée et que détermine l'expérience, afin d'obtenir une ascension lente ; ce lest est donc essentiellement modérateur.

Le pont étanche, au Havre, n'a pas d'utilité pour la manœuvre ; il ne sert qu'à consolider le bateau. On avait pensé d'abord à utiliser le compartiment supérieur pour activer l'immersion, mais cette opération a été reconnue inutile.

Ces bateaux-portes sont des caissons dont l'épaisseur est uniforme sur toute la hauteur.

Saint-Nazaire (fig. 310). — Ici, la stabilité du bateau est assurée par ses formes qui sont celles d'un navire au-dessous de la ligne de flottaison, et sont réduites au-dessus à un simple caisson plat. L'intérieur est divisé par deux ponts horizontaux en trois compartiments.

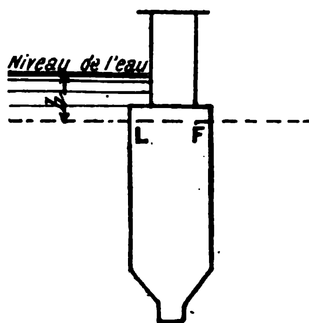


Fig. 310

Celui du haut est accessible à l'eau du bassin par des ouvertures pratiquées à sa partie inférieure et sont munies de bouchons étanches qui ne sont placés que du côté de la forme ; quatre dalots, également munis de bouchons étanches, permettent l'écoulement de l'eau pendant la flottaison. Au milieu, sous le pont supérieur, le compartiment contient

une caisse à eau dont le dessous est situé au niveau moyen des basses eaux. Elle est remplie ou vidée par des pompes et des vannes.

Une caisse égale et outillée de même se trouve au milieu du compartiment intermédiaire; le reste sert de chambre à air.

La chambre inférieure contient à sa base le lest d'équilibre; elle est accessible à l'eau du bassin si elle est vidée complètement, le caisson peut être abattu en carène et réparé.

L'immersion de la porte dans ses rainures s'obtient par le remplissage de la caisse du compartiment moyen. Pendant que le navire est en réparation, une pompe fait passer cette eau dans la caisse supérieure; la porte ne bouge pas, puisqu'elle contient le même poids. Afin de la relever, on vide la caisse par des vannes placées dans le bateau. Cette opération s'exécute avec assez de lenteur pour que la cale se remplisse sans secousses.

Les bateaux-portes sont symétriques par rapport à l'axe longitudinal, de façon à pouvoir servir indifféremment d'un côté ou de l'autre.

Bateaux-portes anglais. — En général, les bateaux-portes anglais sont formés de deux compartiments : l'inférieur constitue la chambre à air; le supérieur la chambre d'équilibre dans laquelle l'entrée ou la sortie d'un lest d'eau fait immerger ou relever le caisson.

Le profil de ces portes est très varié et souvent on ne tient pas à la symétrie qui permet de se servir de l'une ou de l'autre face.

Forme Green à Blackwall. — Nous décrivons en détail la construction de la porte de cette forme, dont les organes nous paraissent bien étudiés. C'est un caisson plat de 20,50 *m* de longueur, 3 mètres de largeur et 8,75 *m* de hauteur, dont les angles extérieurs sont arrondis.

Un peu au-dessus du niveau de basse mer, un pont étanche partage le caisson en deux compartiments, dont l'inférieur est une chambre à air de capacité suffisante pour assurer la flottaison quand l'eau est au niveau du pont étanche.

Pour fermer la cale, le bateau étant à sa place, on laisse l'eau entrer par des valves dans le compartiment supérieur. Pour ouvrir la forme, on ferme ces valves à basse mer avant que le niveau du pont étanche ne soit atteint; la chambre supérieure étant vide, la poussée suffit à soulever la porte. La caisse supérieure est divisée en trois com-

partiments dont la vidange est réglée de façon à modérer le soulèvement de la porte.

L'une des faces est destinée à s'appuyer contre les feuillures, par l'intermédiaire de pièces de teck, protégées par des défenses en orme, qui les débordent et les garantissent des chocs pendant les manœuvres. Le bordé extérieur du caisson est en tôle épaisse de 11 *mm* jusqu'au pont étanche et de 8 à 9 *mm* au-dessus. Les virures de tôle sont posées à recouvrements alternatifs avec simples rangées de rivets aux joints horizontaux et doubles aux verticaux.

Le bordé du fond du caisson a 12,5 *mm* d'épaisseur et est renforcé par les poutres verticales du plancher de même épaisseur rivées aux cornières du fond et des côtés. Le lest, en gueuses de fonte et en ciment de Portland, est arrimé entre ces poutres.

Les cornières qui forment l'ossature latérale ont comme dimensions 75×75×9 *mm*; elles sont espacées de 45 *cm*. Les entretoises en cornières ont jusqu'au niveau de haute mer 100×100×12,5 *mm* et au-dessus 75×75×9 *mm*; elles sont reliées par des goussets aux cornières latérales. Les montants dans le centre du caisson ont 100×100×9 *mm* et sont espacés de 45 *cm*.

Les cornières sous le pont étanche (125×75×9 *mm*) sont élargies à leurs extrémités et liées à l'ossature latérale. Les poutres du pont supérieur (75×75×9 *mm*) sont assujetties par des goussets. Des bandes de tôles horizontales, de 400 *mm* de largeur et 12,5 *mm* d'épaisseur près du sommet, et d'épaisseur moitié moindre au-dessous, sont rivées aux croisillons et réunies par des cornières au bordage.

Les pièces de teck ont 35 *cm* de largeur et 175 *mm* d'épaisseur; celles d'orme qui les protègent ont 25×25 *cm*. Elles sont boulonnées à des cornières ayant 150×150×12 *mm* rivées aux caissons et qui suivent la courbure du radier et le talus des feuillures.

Des trous d'homme permettent la visite des compartiments, des organeaux sont fixés aux coins pour l'attache des haussières de halage. Trois vannes de 90 *cm* de diamètre sont ménagées pour le remplissage de la forme.

Les formules de résistance indiquent que pour une pression de 8 mètres d'eau, l'épaisseur du bordé doit être égale à $\frac{1}{7}$ de la portée entre deux pièces d'appui; pour 10 mètres, cette proportion atteint $\frac{1}{6,3}$ Le premier chiffre semble très suffisant.

Stabilité des bateaux-portes. — Elle se calcule comme celle des navires. Soient (fig. 311) :

ABCD la section d'un navire régulièrement chargé, c'est-à-dire plus à la base qu'à la partie supérieure.

SS la ligne d'eau,

G le centre de gravité.

La carène étant symétrique, le point d'application de la poussée qu'elle reçoit du fluide se trouvera en C, sur la verticale passant par G; ce point s'appelle le *centre de carène*. Dans les caissons à section quasi-rectangulaire, le centre de carène est à l'intersection des diagonales du parallélogramme compris entre la quille et la ligne d'eau; pour d'autres sections, il est au centre de gravité de la figure comprise entre les mêmes lignes.

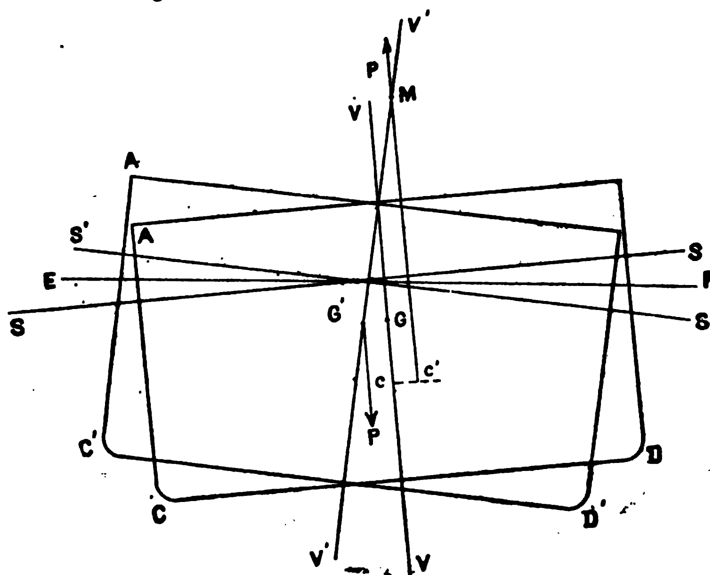


Fig. 311. — Stabilité des bateaux-portes.

Si le bateau s'incline dans la position A' B' C' D', la verticale VV va en V'V', G en G'; la ligne d'eau reste la même, mais la trace de l'ancienne sera en S'S'. On voit facilement que le centre de carène se déplace sur une parallèle à EF, bissectrice de l'angle formé par SS et S'S'.

Le point C va en C', nouveau centre de carène qu'on détermine comme ci-dessus.

La verticale passant par C' rencontre V' V' en un point M, qu'on appelle *métacentre*.

La poussée, qui s'exerce en C', peut être supposée appliquée en M; elle est verticale, de bas en haut; le poids P, vertical de haut en bas, s'exerce en G'.

Si M est au-dessus de G, on voit que les deux forces tendent à ramener le bateau à sa position d'équilibre; s'il est au-dessous, l'effet des deux forces est de le renverser. Donc l'équilibre est stable si *le métacentre est au-dessus du centre de gravité.*

Il faut en déterminer la position. La considération du moment de stabilité amène à la relation

$$MC = \frac{I}{V}$$

dans laquelle MC est la distance verticale entre les deux points considérés, V le volume immergé de la carène, I le moment d'inertie de la courbe dessiné sur le bateau par le plan de flottaison SS, moment pris par rapport à l'axe longitudinal de cette courbe.

V est aisé à calculer. Pour I, en désignant par l la longueur de l'axe longitudinal précité, il est représenté par l'intégrale

$$\frac{2}{3}\int_o^L y^3 dL$$

qu'on calcule par la formule de Simpson ou une analogue.

On partage la longueur L en un nombre pair de parties égales; par les points de division, on mène les ordonnées de la courbe; l'aire est

$$\frac{L}{3_n}\left[y_0 + y_n + 4(y_1 + y_3 + \dots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_L + \dots y_{n-2})\right]$$

Doublant et divisant par 3V, on aura MC.

Or,

$$MC = MG + CG; \quad \text{d'où } MG = MC - CG$$

En posant $a = CG$, il vient donc

$$MG = \frac{I}{V} - a \qquad (1)$$

La stabilité exige MG positif, ou

$$\frac{I}{V} > a$$

condition qu'on peut mettre sous la forme

$$\frac{2\int_{o}^{L} y^3 d\mathrm{L}}{\mathrm{V}} > 3a$$

Cette expression montre que la stabilité est en raison directe du cube des ordonnées de la courbe de la ligne d'eau, c'est-à-dire de la surface, et en raison inverse du volume immergé. D'où l'indication d'élargir le bateau à la ligne de flottaison et de le retrécir dans ses parties inférieures, au-dessous de la flottaison la plus basse.

La diminution de la longueur a augmente également la stabilité ; les centres de gravité et de carène doivent donc se rapprocher.

Enfin, la stabilité serait assurée si a était négatif, c'est-à-dire si le centre de gravité se trouvait au-dessous du centre de carène, résultat qu'on obtient en lestant très lourdement près de la quille.

La longueur MG est désignée sous le nom de *hauteur métacentrique* ; l'expérience démontre qu'un bateau-porte est stable quand cette hauteur est d'au moins 75 *cm*.

Enclave. — On a décrit l'enclave où se meut le bateau-porte comme complète, c'est-à-dire présentant une section rectangulaire à trois côtés fermés (fig. 314). Pour en faire sortir le bateau, une forte inclinaison des bajoyers s'impose.

Fig. 312 Fig. 313

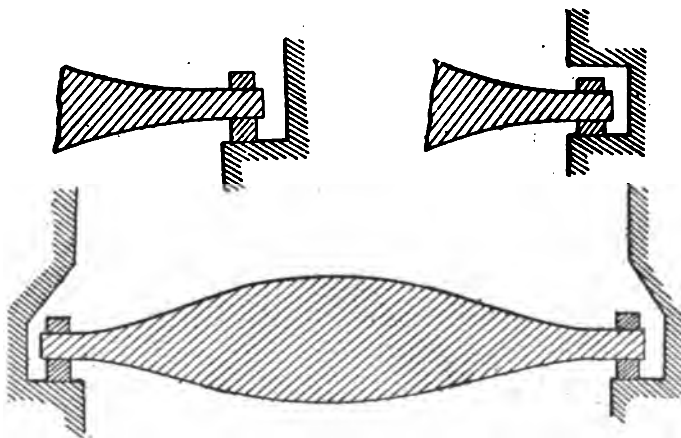


Fig. 314. — Formes diverses des enclaves.

Mais elle a comme conséquence l'augmentation de la longueur de l'arête supérieure de la porte et par suite l'élévation du centre de gravité, condition défavorable à la stabilité.

On a cherché à remédier à cet inconvénient en conservant à l'enclave la forme rectangulaire dans le radier, mais en l'évasant le long des bajoyers (fig. 312).

Alors, aussitôt la quille sortie de l'enclave inférieure, on peut retirer la porte en la faisant tourner horizontalement autour de l'une de ses extrémités.

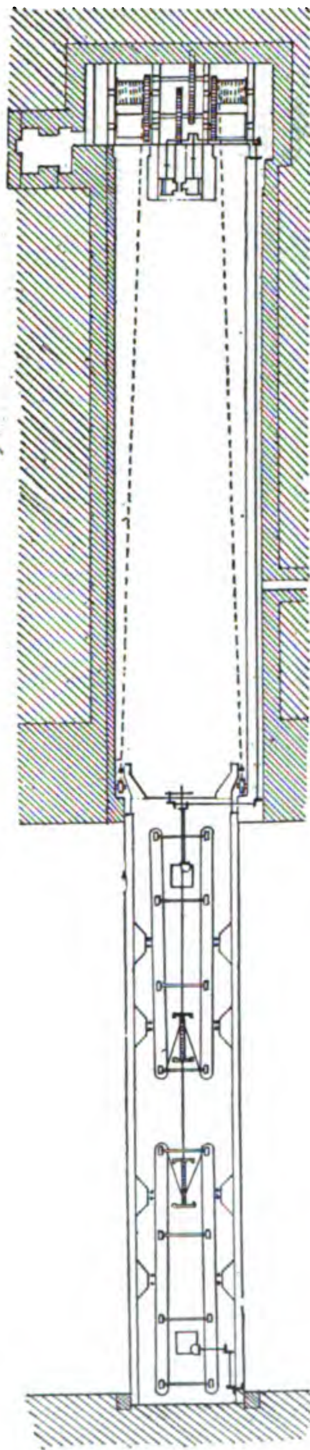
En Angleterre, souvent l'enclave est supprimée ; la porte bute simplement contre une saillie (fig. 313) ; mais il faut dans les deux derniers cas bien la maintenir verticale pendant les manœuvres, car elle a toujours une tendance à se coucher. D'ailleurs, les mêmes précautions s'imposeraient avec la première forme pendant l'immersion, quand les sections rétrécies du sommet s'enfoncent et que la stabilité diminue.

Conséquences. — On voit que la meilleure forme à donner aux caissons est celle des anciens navires, étroits à la base, larges au sommet ; mais il y a une grande différence entre eux ; c'est que la ligne de flottaison est beaucoup plus variable dans les premiers ; il est donc difficile d'appliquer la théorie. Dans un bateau-porte comme celui de Saint-Nazaire ou de Marseille, aussitôt que le flotteur supérieur, étroit, est immergé, la stabilité diminue dans de grandes proportions. Si l'on considère, en outre, la sujétion du travail des formes courbes, on comprendra que nombre de constructeurs préfèrent les caissons d'égale épaisseur, dont le prix de revient est moindre, et dont la stabilité est presque constante (Le Havre, Blackwall, etc.).

A Limekiln, M. Kinipple a installé un caisson dont la forme est celle d'un angle dièdre, comme les portes busquées d'écluses ; il l'a construit ainsi pour lui donner plus de résistance. Cette expérience n'a pas été renouvelée, même par son auteur.

Caissons-portes glissants. — Les bateaux-portes, quand la forme n'est pas occupée, sont enlevés et remisés ordinairement en dehors de la chambre d'entrée, rarement dans des retraites ménagées dans cette chambre. Il y a là une manœuvre assez longue ; aussi emploie-t-on parfois des caissons qui se retirent en glissant dans des chambres latérales pratiquées dans l'épaisseur des bojoyers.

Caissons glissants. — Comme exemple, nous donnons l'un des caissons qui ferment les nouveaux bassins de l'arsenal de Portsmouth (fig. 315).



Plan.

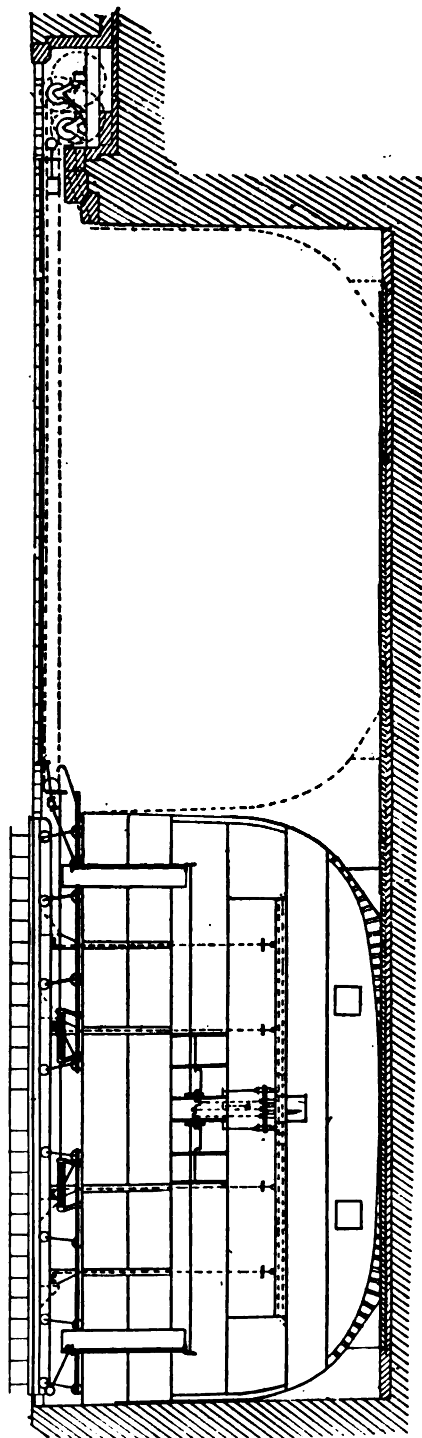
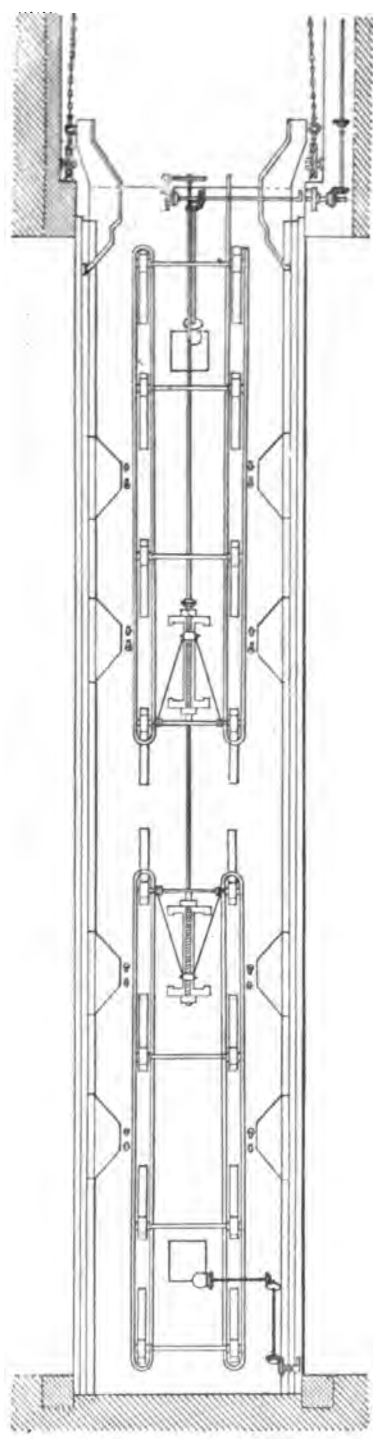


Fig. 315. — Portsmouth. — Caisson glissant. Coupe longitudinale.



Plan de la plateforme supérieure.

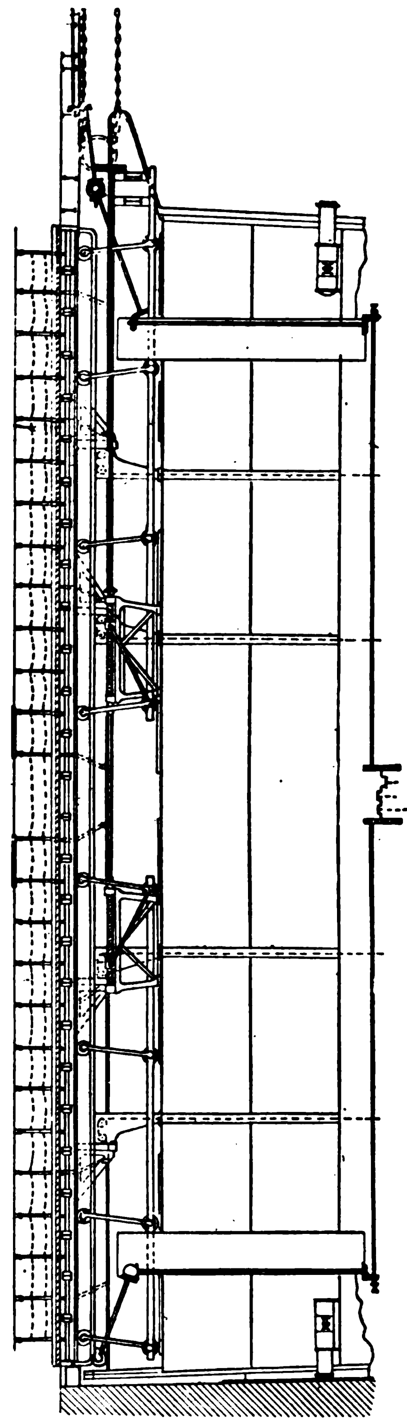


Fig. 315. — Portsmouth. — Coupe longitudinale de la moitié supérieure.

Le caisson est un parallélipipède rectangle divisé par des ponts horizontaux étanches en plusieurs compartiments qui de bas en haut sont les suivants :

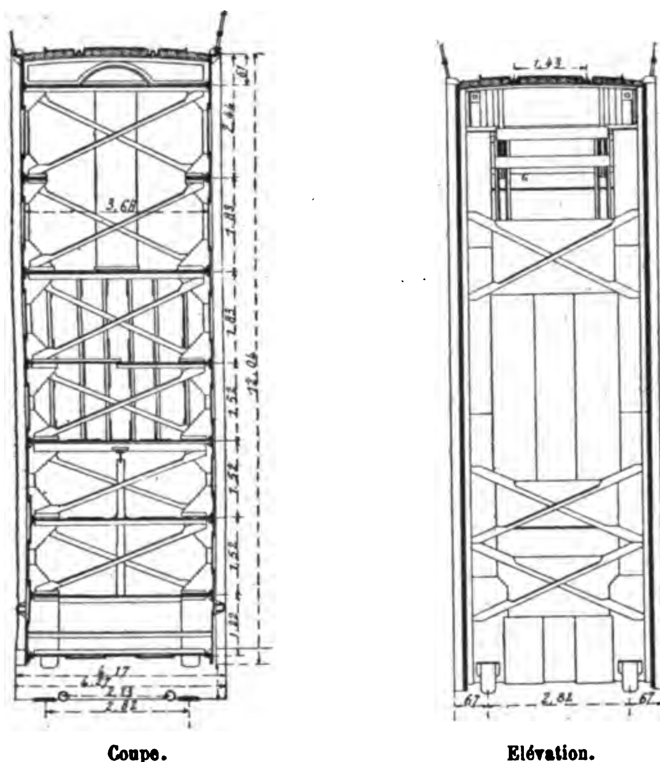
1. Compartiment à air avec lest de fonte.

2. » à eau ouvert.

3. » à air contenant à chaque extrémité un réservoir et au milieu des pompes qui peuvent vider ou remplir les réservoirs ensemble ou séparément.

4. Compartiment à air, avec l'arbre coudé qui actionne les pompes.

5 et 6. Compartiments à eau ouvert. Leur plafond est consolidé pour équilibrer les poids qui passent sur la plateforme supérieure.



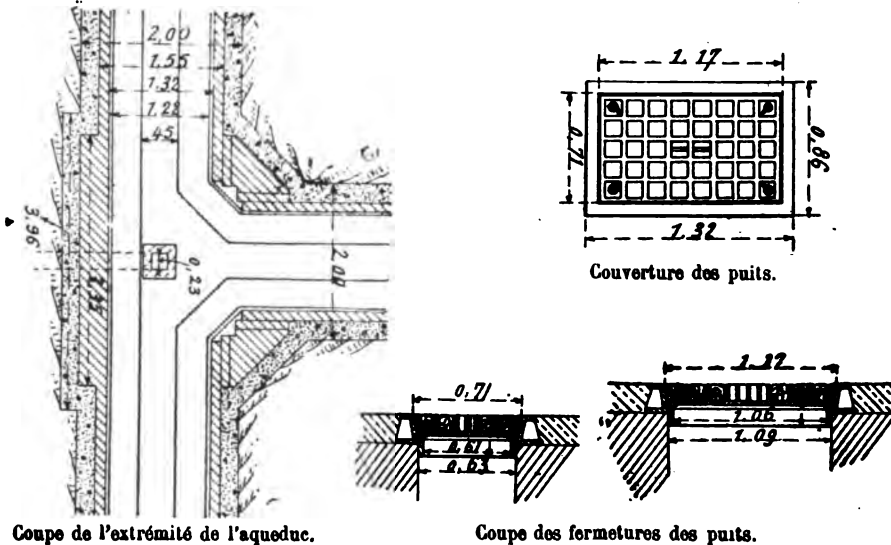
Coupe. Elévation.

Fig. 316. — Portsmouth. — Caisson glissant.

Le caisson, quand le bassin est ouvert est ramené dans la chambre de retraite, couverte par un pont-route. Les chandeliers et la main-courante s'abaissent pour passer au-dessous.

Les appareils de halage, sont mus par l'air comprimé qui agit dans des cylindres de 40 *cm* de diamètre et 43 *cm* de course. Elles servent

en même temps à la manœuvre des vannes des bassins adjacents et des pompes.



Couverture des puits.

Coupe de l'extrémité de l'aqueduc.

Coupe des fermetures des puits.

Fig. 317. — Portsmouth.

Pour lever ou abaisser la plateforme, il y a dans le compartiment supérieur deux châssis sur galets qu'écarte plus ou moins un mécanisme mû par des vis. Ces châssis sont reliés à la plateforme par seize paires de tiges articulées, qui se redressent ou s'inclinent suivant que les deux trucs s'éloignent ou se rapprochent. La plateforme

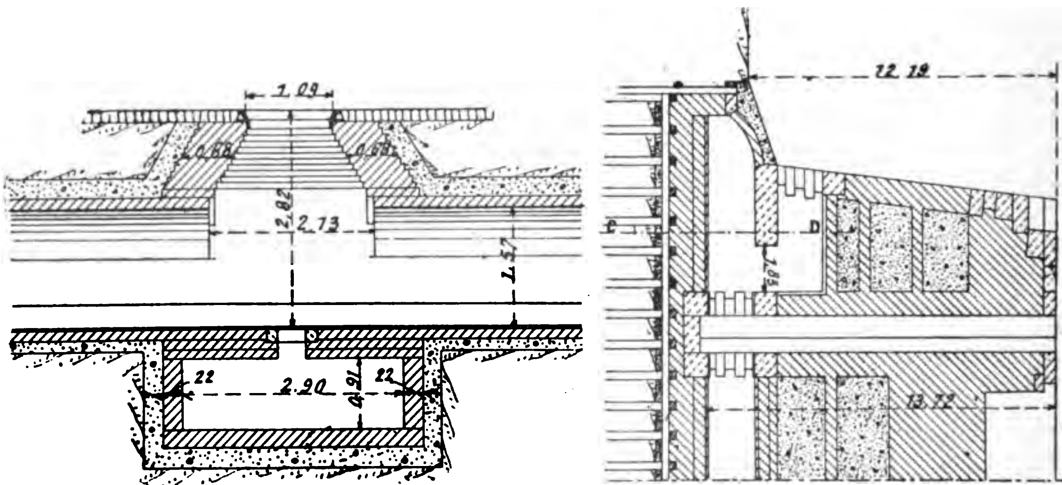


Fig. 317. — Coupe de l'entrée de l'aqueduc. Portsmouth. Fig. 317. — Coupe verticale des puits.

s'élève ou s'avance donc avec elles, et les chandeliers lui sont liés de façon que dans le second cas ils se couchent pour passer sous le pont.

La plateforme mobile est contre-balancée en dessous par des poids, qui préviennent des efforts extraordinaires.

Les chaînes qui partent des tambours inférieurs halent le caisson

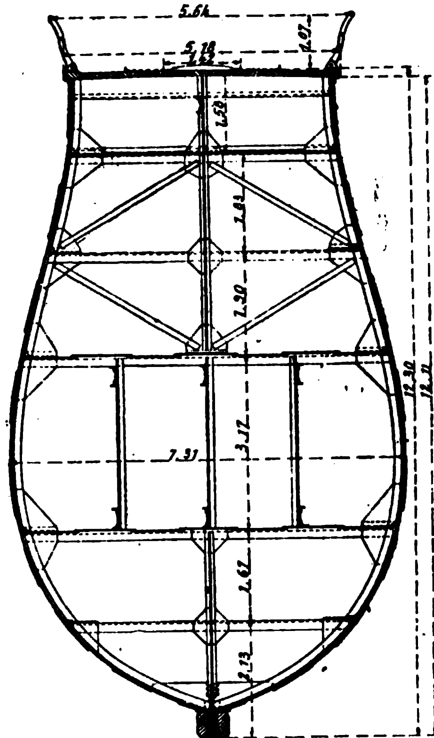


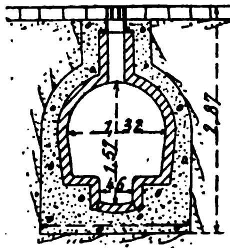
Fig. 318. — Portsmouth. — Coupe. Caisson ordinaire.

dans sa chambre de retraite ; celles des tambours supérieurs passent sur des poulies de renvoi fixées dans la maçonnerie ; elles portent des crochets qui s'accrochent à des pitons fixés sur le caisson et le ramènent en place par la manœuvre du treuil. Les chaînes se déroulent d'un des tambours tandis qu'elle s'enroulent sur l'autre.

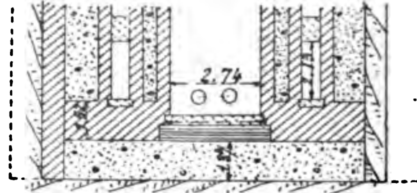
Pendant la manœuvre, le caisson est lège, ce qu'on obtient par le jeu des réservoirs suivant l'état de la marée.

Le caisson qui ferme l'écluse entre le bassin de marée et celui d'armement n'est pas installé de cette façon (fig. 318) ; pour passer sous le pont-route, il est rempli d'eau et immergé à la profondeur convenable.

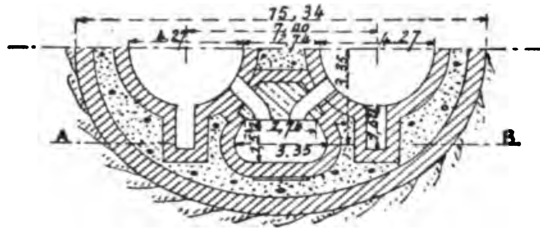
Portsmouth.



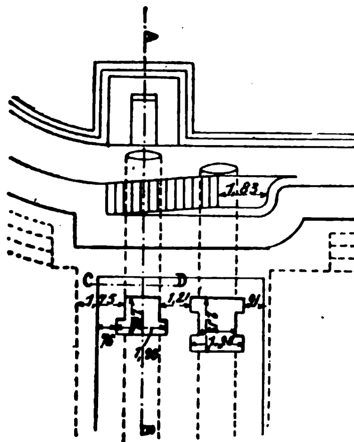
Coupe du puits d'aérage.



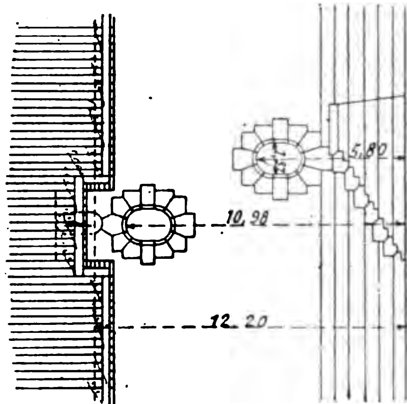
Aqueducs. Coupe AB.



Demi-plan du puits de drainage.



Elévation.



Aqueducs, Plan.

Dans les chambres les caissons glissent sur des bandes de fonte fixées dans le radier ; ils sont munis à cet effet de deux pièces qui s'appuient sur les bandes.

Les figures 317 donnent les détails de diverses parties des aqueducs de Portsmouth.

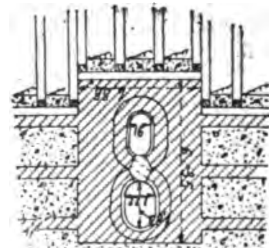


Fig. 317. — Coupe des aqueducs.

Caissons-portes roulants. — Que l'on remplace par des galets, dans les chambres de retraite, les bandes de fonte dont il est question ci-dessus et l'on obtient les caissons roulants. Quelquefois au contraire, ce sont les portes qui sont munies de roulettes fonctionnant sur des rails fixés dans le radier de la chambre. Le mouvement est donné par une chaîne sans fin, généralement commandée par des appareils hydrauliques.

Le caisson employé au bassin de radoub du Cerro à Montevideo roule sur des galets fixés au radier de la chambre d'entrée et de celle de retraite. Au besoin, le caisson peut être retiré de ses galets et placé comme un bateau-porte ordinaire contre les feuillures.

La manœuvre des caissons roulants est plus facile que celle des caissons glissants ; les rails servent de guides.

La force nécessaire à la manœuvre est aussi moins considérable.

Ecluse de Tancarville. — Nous décrivons ici les portes construites par M. Bellot pour les écluses du canal de Tancarville, parce qu'elles se rapprochent des bateaux-portes et pourraient être adaptées aux formes de radoub.

Les plus grandes ont 18,75 *m* de longueur, 9,85 *m* de hauteur et 4,064 *m* de largeur ; elles diffèrent des bateaux-portes en ce qu'elles tournent à charnières, à l'une de leurs extrémités, sur un poteau-tourillon. Elles flottent, quelle que soit la cote à laquelle l'eau ambiante s'élève au-dessus de son niveau minimum, qui est celui des basses mers de vive eau. A cet effet, on a placé à ce niveau un pont étanche, au-dessous duquel est une chambre à air où est placé le lest d'équilibre.

Le poteau-tourillon est constitué par une caisse rectangulaire de 2,25 *m* de longueur, avec crapaudine et tourillon.

Des fourrures en bois assurent l'étanchéité du contact avec les feuillures et le seuil.

L'eau pénètre dans la chambre supérieure par des aqueducs en fonte munis de vannes toujours ouvertes, sauf dans le cas où l'on déplace la porte pour la réparer et où on les ferme à marée basse. Le flot soulève le caisson. Des trous d'homme avec cheminées en tôle permettent la visite de la chambre à air.

La manœuvre se fait par des appareils hydrauliques.

Ces caissons ont sur les portes busquées les avantages suivants : Economie dans les maçonneries, les bajoyers au droit des chardonnets n'ayant pas besoin d'être plus épais. Remplacement des chardonnets courbes par des feuillures planes. Exécution plus facile ; étanchéité mieux assurée ; manœuvre plus simple. Les bateaux-portes ordinaires ont les mêmes avantages, et la porte à charnières n'a pas encore été adoptée pour les bassins de radoub.

Caissons Kinipple. — Les caissons roulants sont d'une manœuvre aisée et rapide, même au milieu d'un fort courant. Ils servent aussi de ponts. Avec le système Kinipple (à Portsmouth) ils ne prennent pas de place sur le quai. La chambre de retraite est plafonnée en voûte sur fers à T, de sorte que même cet espace sert comme quai. Le pont est pliant Le tillac et les chandeliers de la main courante sont articulés sur des montants avec contrepoids. Une pièce arrondie, à l'entrée de la chambre de retraite, force l'ensemble à s'abaisser et à passer sous les voûtes. Au contraire, quand on remet le pont en place, les poutres qui portent le pont viennent buter contre une pièce en arc de cercle, qui les force à se relever.

Quelquefois les galets sont fixés sur le caisson et les rails sur la maçonnerie du fond (cale de Garvel, à Greenock) ; d'autres fois, c'est le contraire (entrée du bassin James Watt, au même port). C'est la dernière combinaison qui est la meilleure, parce que les roulettes placées sur le fond peuvent aisément être changées. De plus, pour sortir du seuil, le caisson qui ne porte que les rails a moins à se lever.

Dans le système Kinipple, le pont couché sous les voûtes leur sert encore de point d'appui.

Le système sera décrit au chapitre des ponts mobiles.

MANŒUVRE ET TRAVAIL

Le navire est halé dans la forme au moyen d'aussières appliquées aux bas mâts, et on l'accore aussitôt qu'il commence à reposer sur les tins, en forçant peu à peu les épontilles. Si la hauteur d'eau est suffisante pour faire entrer un navire chargé et si la réparation concerne les parties hautes, il est inutile d'épuiser complètement la forme ; on soulage les tins du poids qui reste soutenu par l'eau.

Aussitôt accorée, la carène est nettoyée et grattée par des équipes installées sur des radeaux ; on est même obligé de faire modérer l'épuisement pour permettre ce travail, qui s'exécute ainsi facilement.

Les bassins de radoub ont un outillage complet de grues mobiles pour présenter les pièces nécessaires, d'élévateurs pour remonter les parties enlevées, de cabestans, etc. En général on y emploie des outils mus par la source d'énergie qui sert aux organes de la forme ; le plus souvent, c'est l'eau comprimée.

La vapeur doit aussi être fournie par les machines des ateliers, pour les épreuves des chaudières, les treuils, etc ; des conduites d'eau sous pression pour le lavage, d'eau douce pour les besoins du bord, sont également installées, ainsi que les moyens d'éclairage.

Formes pour le matériel. — Les grands ports doivent avoir une forme spéciale à fond plat, pour leur matériel flottant, mâtures, grues, chalands, bâteaux-portes, etc., afin de ne pas encombrer les cales ordinaires.

Mais on trouvera souvent économie à construire dans ce but non un bassin de radoub, mais une cale de halage dont le prix d'établissement et les frais d'exploitation sont ordinairement beaucoup moindres.

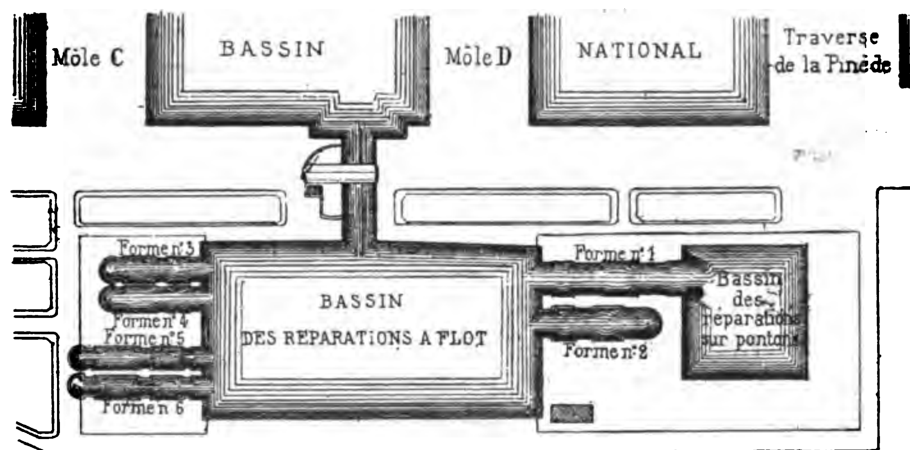


Fig. 322. — Bassin spécial aux formes de Marseille.

Situation des formes. — Les formes de radoub peuvent se placer dans toutes les parties abritées d'un port, d'un avant-port ou d'une

rivière. S'il y en a plusieurs, on les dispose par groupes, pour concentrer autour d'elles les ateliers, les accessoires, etc. et mieux encore, on les dispose autour d'un bassin spécial affecté lui-même à la réparation des navires. C'est ce qui existe à Marseille (fig. 322) ; à côté de ce bassin où se font les travaux à flot, il y en a un plus petit pour les réparations sur pontons.

Un bassin spécial a été également ménagé à Portsmouth; mais on n'a pu y réunir toutes les cales, trop nombreuses.

La distance entre les formes est souvent considérable ; au Havre, entre les formes 5 et 6 on a trouvé qu'un terre-plein de 12 mètres était suffisant ; il y a encore moins entre les cales numéros 2 et 3 de Saint-Nazaire. A Anvers, cet espacement est de 20 mètres.

MACHINES D'ÉPUISEMENT

Utilisation des formes de radoub. — Les voiliers en bois ne passent guère au bassin qu'en cas de réparations notables et exigeant plusieurs journées de travail. Les frais sont donc pour eux considérables et ils ne s'y résignent qu'à la dernière extrémité. Pour les radoubages, le calfatage, ils préfèrent l'abatage en carène.

Ce mode de réparation n'est pas admissible pour les navires en fer et surtout les vapeurs. Aussi nos ports ont-ils dû récemment, à la suite du développement de la marine à vapeur, être dotés de nouvelles formes.

Le nettoyage et la peinture de la carène de ces navires doivent être fréquents; les véritables réparations au gouvernail, à l'hélice, à la coque elle-même sont beaucoup plus rares. Celles des machines se font à flot.

Le grattage de la coque se fait, on l'a vu, pendant l'assèchement de la forme, car il est plus facile quand les incrustations sont humides ; la première couche de peinture se donne aussitôt après.

Aussi le temps passé par ces bâtiments dans les cales de radoub est-il très restreint, deux jours seulement en moyenne. A Marseille, chaque bassin ne reçoit que de 80 à 100 navires par an, soit environ 200 jours d'utilisation ; néanmoins la presse est parfois si grande que les bâtiments sont obligés d'attendre leur tour ; d'où une perte notable d'argent.

L'épuisement doit donc se faire avec la plus grande rapidité possible.

Genre de pompes. — Autrefois l'emploi des pompes à piston était général et elles existent encore dans les anciennes installations comme celle d'Anvers.

La carène des navires de l'époque, en bois doublé de cuivre, se maintenait propre et il ne s'en détachait pas de substances capables d'avarier les pistons.

Il n'en est pas de même avec les navires en fer, qui se recouvrent d'incrustations. Cet inconvénient fait préférer les pompes centrifuges, dont le débit est d'ailleurs plus considérable avec des dimensions restreintes.

Épuisement. — Mais aucun des systèmes ne donne une solution rationnelle de l'épuisement des formes. La hauteur d'élévation de l'eau extraite varie en effet à tout moment. Nulle d'abord, elle atteint à la fin la différence de hauteur qui sépare le fond du bassin du tuyau d'évacuation. Or, ni le moteur, ni la pompe ne peuvent modifier leur puissance ou leur débit dans de telles proportions.

Comme l'a fait remarquer Barret, le tympan est la seule machine élévatoire qui se plierait à ces variations, mais son poids et son volume en ont toujours fait écarter l'adoption.

L'épuisement par les pompes s'opère dans un délai de trois heures environ, mais on tend encore à diminuer cette durée et l'assèchement du nouveau dock de Barry ($190 \times 24{,}50 \times 6{,}10$ à $8{,}50\ m$) n'exige qu'une heure.

Voici comment on se rend compte de la force nécessaire :

Soient :

V, le volume d'eau contenue dans la forme, en mètres cubes.

h, la hauteur moyenne à laquelle elle doit être élevée, en mètres.

n, le nombre de secondes accordé pour l'assèchement,

le travail effectué pour la vidange est, en chevaux-vapeur

$$\frac{1026\,Vh}{75n}$$

Ce travail n'est pas constant. L'expérience montre qu'il faut, pour répondre au programme, augmenter de 50 % la force de la machine. Par ailleurs, le rendement d'une machine à vapeur compound attelée à une pompe centrifuge, le système le plus employé, est d'environ 50 %. La force F réellement nécessaire est donc :

$$F = \frac{2 \times 1{,}5 \times 1026\,Vh}{75\,n} = \frac{41\,Vh}{n}$$

Pour une heure, $n = 3\,600$ et alors

$$F = 0,0114\ Vh$$

La force diminue proportionnellement quand augmente le nombre d'heures consacrées à l'épuisement.

Le coefficient est donc :

0,0114 pour une heure,

0,0057 pour deux heures,

0,0038 pour trois heures.

Au Havre la forme n° 5 qui contient 37 675 mètres cubes est épuisée en trois heures, la hauteur moyenne d'élévation étant de 6,40 *m*. La formule donne F = 625 et en réalité la force employée est de 602 chevaux.

Pompe de réserve. — Le service des formes de radoub ne doit pas être interrompu ; aussi est-il nécessaire d'avoir une pompe de réserve pour les cas de réparations.

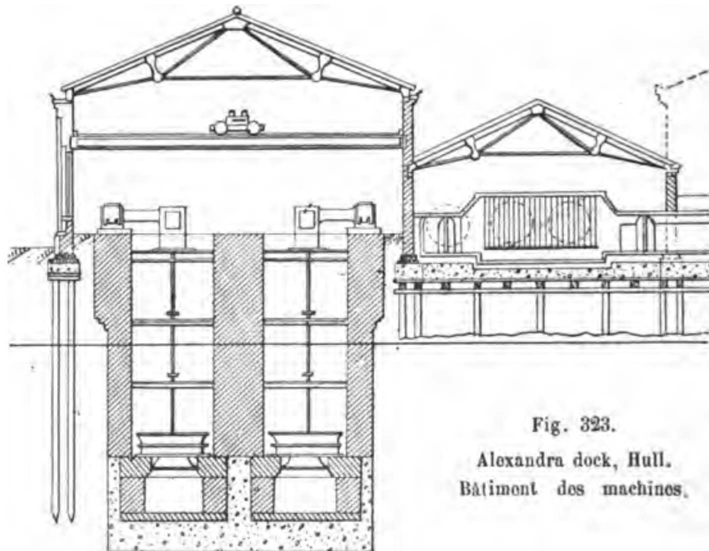


Fig. 323.
Alexandra dock, Hull.
Bâtiment des machines.

Situation des pompes. — Les pompes centrifuges ont un rendement d'autant plus grand que leur hauteur d'aspiration est faible ; aussi les place-t-on au fond d'un encuvement, sur une plaque qui recouvre les puisards où se rend l'eau à extraire (fig. 323).

Commande. — Il vaut mieux actionner les pompes directement par une machine compound pilon placée à côté. Les courroies sont bien moins avantageuses; elles sont pourtant en usage à Calais et Saint-Nazaire.

Pompe d'entretien. — Une petite pompe avec moteur distinct sert à enlever les eaux de filtration et de lavage. Elle est en général à piston, plongeur ou non.

Le Havre. — A la forme n° 5 du Havre l'ensemble de la machinerie comprend trois pompes centrifuges actionnées directement chacune par une machine à vapeur compound à condensation.

Les pompes centrifuges sont à axe vertical comme des turbines; leur diamètre est de 2 mètres. Ceux des cylindres des machines compound sont de 45 *cm* et 78 *cm*; la course est de 60 *cm*. La vapeur est fournie par trois chaudières semi-tubulaires à foyers intérieurs, dont les surfaces de grille et de chauffe mesurent respectivement 4 mètres carrés et 125 mètres carrés.

Les machines à vapeur sont du type pilon; elles sont placées au niveau du sol, à la portée du mécanicien et loin de l'humidité. Les pompes centrifuges, dont l'aspiration ne peut être que très courte, sont à 4,78 *m* au-dessus du fond du puisard ; elles sont isolées de l'eau par une voûte en maçonnerie.

La pompe d'entretien est à piston ordinaire; la machine compound motrice est horizontale, avec des cylindres de 23 *cm* et 40 *cm* et une course de 40 *cm*. La vapeur est fournie par un seul générateur ayant 30 mètres carrés de surface de grille et 11,56 m^2 de surface de chauffe.

Les figures 324 et 325 indiquent la disposition de ces divers appareils.

Saint-Nazaire. — L'épuisement est opéré par quatre pompes centrifuges, débitant chacune 500 litres par seconde; la turbine a 60 *cm* de diamètre et les tuyaux d'aspiration et de refoulement 40 *cm*; l'entretien a lieu par deux pompes du même type donnant chacune vingt-cinq litres par seconde; la turbine a 33 *cm* de diamètre et les tuyaux 15 *cm*.

Les tuyaux de refoulement aboutissent à un aqueduc général de 240 mètres de longueur, 1,90 *m* de hauteur sous clef, 1,20 *m* de diamètre, avec un radier en arc de cercle de 2 mètres de rayon et 2 *cm*

de pente longitudinale ; le niveau du radier au départ est à 3,60 *m* au-dessous du couronnement.

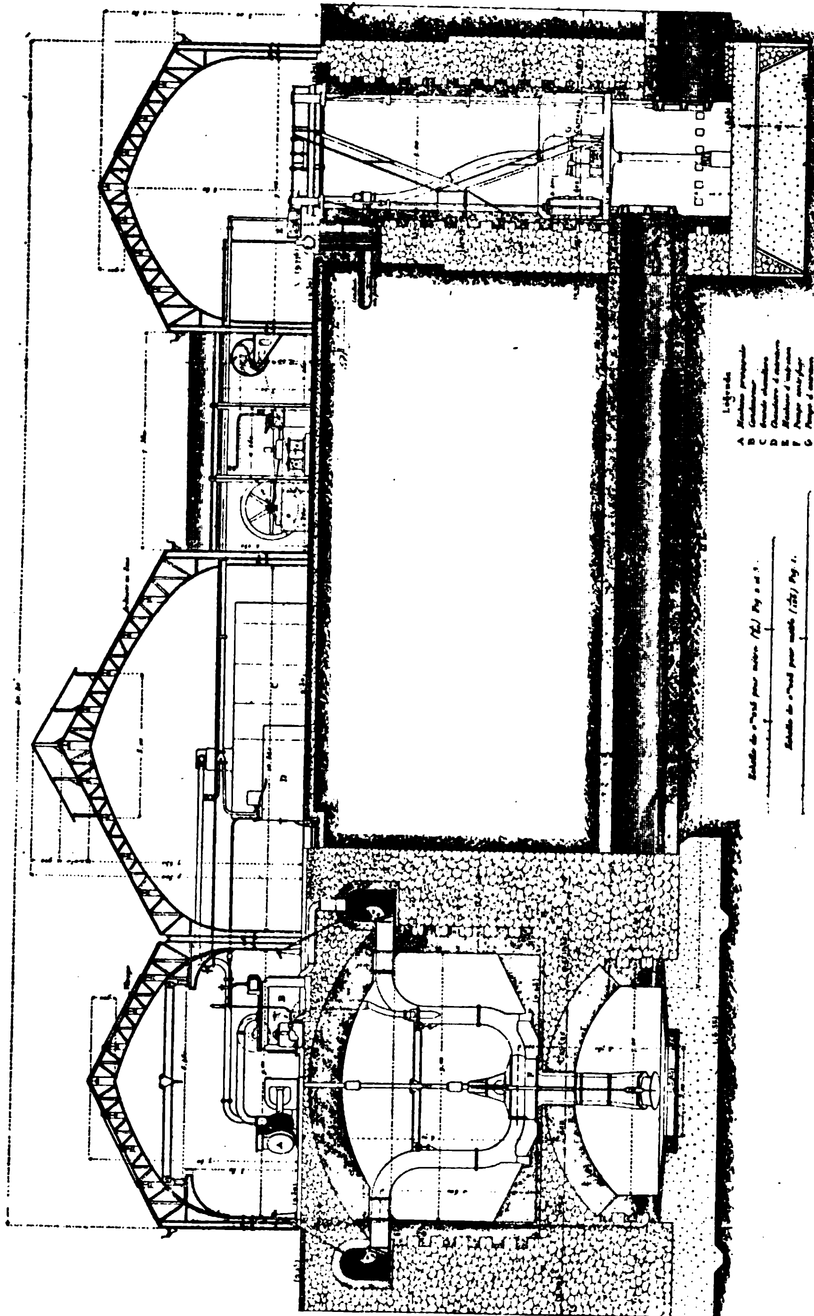


Fig. 324. — Le Havre. — Appareils d'épuisement. Coupe.

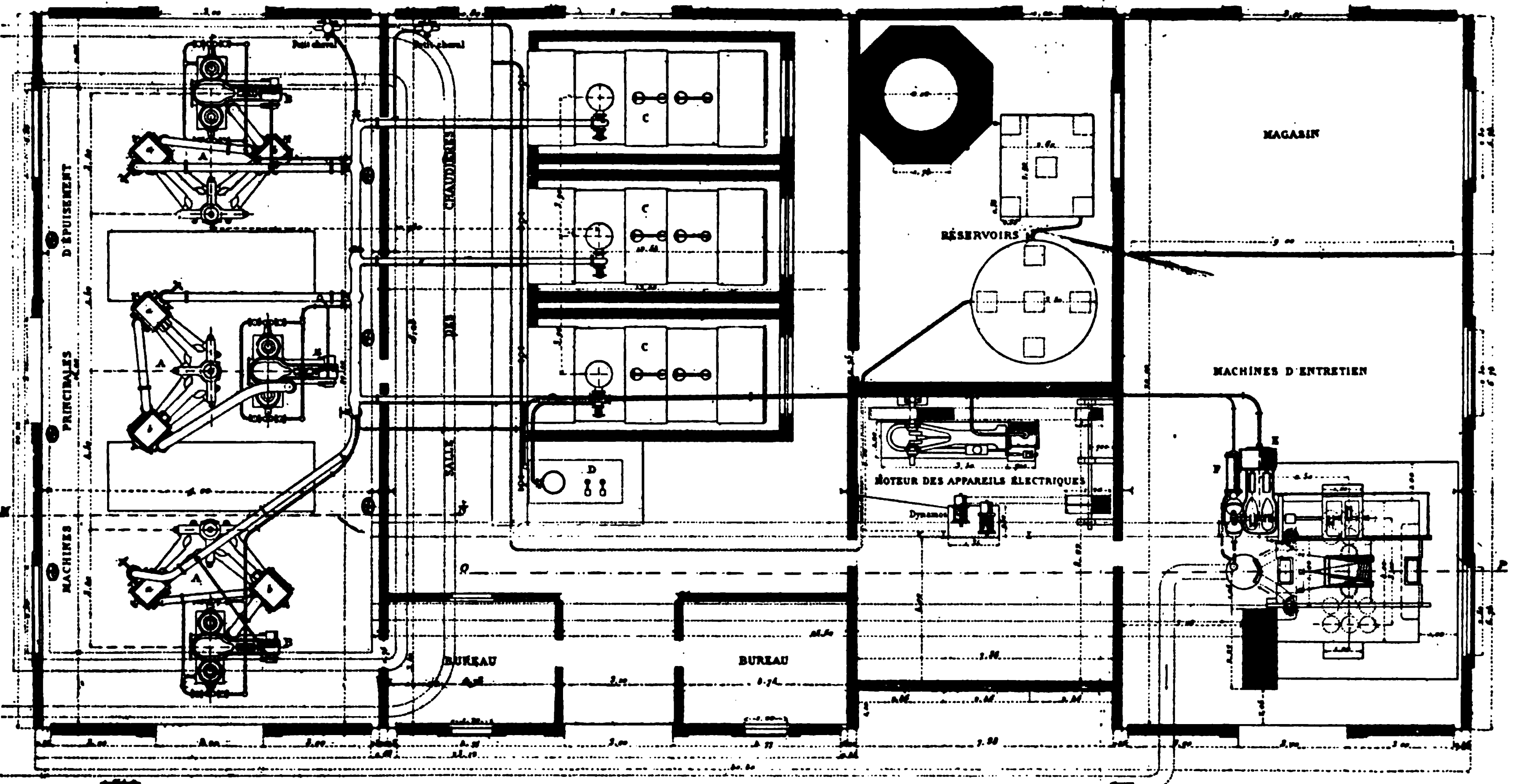


Fig. 325. — Le Havre. — Appareils d'épuisement.
Plan.

Halifax. — Deux machines à vapeur verticales à action directe et haute pression, ayant des cylindres de 48 *cm* de diamètre et une course de 40 *cm*. Deux pompes centrifuges de 1,50 *m* de diamètre. Trois chaudières en acier, de 1,75 *m* de diamètre, 4 mètres de longueur, donnant une pression de 7 kilogrammes par centimètre carré. Le sol de la chambre des machines est à 5 mètres au-dessous du couronnement. La machine de drainage a 25 *cm* de diamètre et une course de 30 *cm*; elle actionne une série de pompes a trois coudes, de 28 *cm* de diamètre et 76 *cm* de course.

Belfast. — Deux paires de machines compound horizontales sans condensation de 500 chevaux ensemble, avec leurs cylindres à angles droits. Les cylindres de haute pression ont 50 *cm*, et ceux de basse pression 79 *cm* de diamètre ; leur course est de 61 *cm*. Les machines sont placées au niveau général du sol, et les pompes, de 2,10 *m* de diamètre, au fond des puits. La pompe de drainage, centrifuge, de 23 *cm* de diamètre est commandée par courroie au moyen d'une machine horizontale oscillant sans condensation de 25 *cm* de diamètre et 38 *cm* de course. Trois chaudières de 9 mètres de longueur, 2,30 *m* de diamètre ; pression, 5,40 *kg*.

Anvers. — L'épuisement des six formes de radoub se fait au moyen d'une seule machine installée en 1864. Elle est de la force de 250 chevaux et actionne huit pompes mues par des balanciers.

Les pompes sont à piston ; leur diamètre est de 1,31 *m* pour quatre d'entre elles et de 91 *cm* pour les autres ; la course du piston est uniformément d'un mètre. Le débit total est de 3 300 litres par seconde.

Tilbury. — Quatre pompes rotatives, deux de 1,50 *m*, deux de 1,35 *m* de diamètre sont actionnées directement par quatre groupes de machines-pilon à haute pression. Ces pompes déchargent dix mètres cubes par seconde et peuvent vider une des grandes formes en une heure. L'entretien se fait par des pompes à piston donnant 75 litres à la seconde.

Biloela (*Sydney*). — Les pompes d'épuisement, au nombre de deux, sont à piston plongeur, à double action de 1,38 *m* de diamètre et 1,83 *m* de course. Elles épuisent 45 000 mètres cubes d'eau en trois heures et demie. Le même système a été adopté à Portsmouth, avec des pompes à simple effet, dont le diamètre et la course sont de 1,83 *m*.

Pour l'entretien, plusieurs ports anglais et notamment Liverpool ont préféré des pompes à chapelet.

Comparaison des pompes. — L'avantage des pompes rotatives est, on l'a dit, de se prêter à l'élévation des eaux sales et même contenant des matières solides d'un certain volume : mais leur rendement est inférieur à celui des pompes à piston et elles exigent une vitesse considérable. On l'a diminuée à Chatham par l'adoption d'un diamètre considérable, 2,55 *m*. A Cardiff, on a remédié à cet inconvénient en accouplant trois jeux de pompes placées à différentes hauteurs; leurs disques sont conduits par le même arbre et l'eau passe de l'une à l'autre. Le rendement est ainsi notablement élevé.

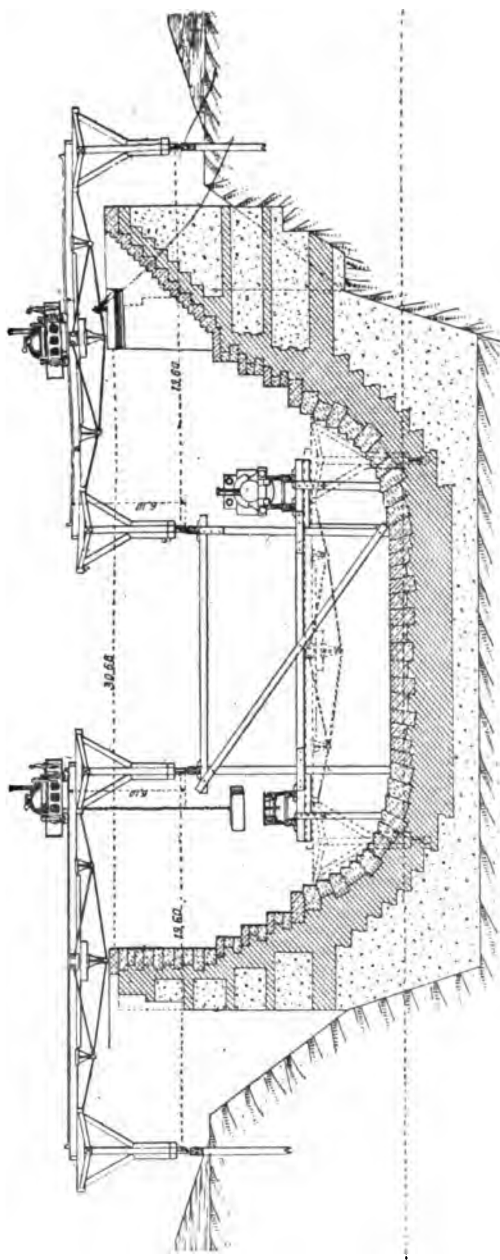


Fig. 326. — Malte. — Appareils de construction du Somerset dock.

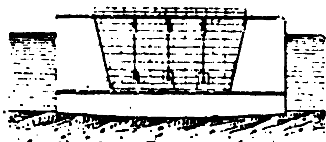
Matériel de construction.—La figure 326 montre les appareils employés à la construction du bassin de radoub « Somerset » à Malte. On a ainsi abrégé beaucoup le temps nécessaire. La hauteur de l'échafaudage étant de 14,50 *m*, les grues roulantes ont servi à la pose de la maçonnerie

jusqu'au niveau de l'eau. La longueur de l'ensemble était de 45 mètres, partagée en cinq travées, et l'on reconstruisait en avant l'une d'elles, à mesure que l'achèvement d'une partie en permettait la démolition.

AUTRES SYSTÈMES DE RADOUB

Tout système susceptible de recevoir un navire et d'être asséché peut constituer un procédé de radoub. A Londres, un vieux navire transformé, le *Canton*, a été utilisé pendant soixante-cinq ans dans ce but.

Formes de radoub métalliques fixes. — Dans les terrains très affouillables, les fondations des formes sont coûteuses ; dans les pays sujets aux tremblements de terre les maçonneries peuvent être aisément démolies. Pour ces cas spéciaux, MM. Weddell et Donald ont construit des formes de radoub tout en métal, avec double fond fortement entretoisé (fig. 327) fermées par un bateau-porte. On nivelle le sol sur lequel doit reposer la caisse qu'on y échoue et l'on remplit le double fond de béton. De semblables formes peuvent être construites en bois.


Fig. 327.

Bassins de radoub en bois. — Aux États-Unis où le bois est à bon marché, on construit des bassins de radoub tout en charpente. Les Américains leur reconnaissent l'avantage de coûter bon marché, tout en étant assez durables pour qu'au bout de vingt ans elles exigent encore peu de réparations, et seulement dans les parties hautes, celles qui sont recouvertes par l'eau se conservant bien. Les passages rapides de la chaleur au froid dus au climat extrême du pays ont peu d'effet sur les joints des charpentes, que la glace recouvre moins que la maçonnerie.

Les gradins étant très bas, point n'est besoin d'escaliers déterminés. Leur faible inclinaison laisse entrer plus d'air et de lumière que dans les formes maçonnées.

On a ainsi construit dans le système Simpson à Brooklyn une forme de 160 mètres de longueur ; il en existe une de 186 mètres à Terre-Neuve.

On entoure toute l'étendue du radier d'une enceinte de pieux et palplanches à languettes et rainures, enfoncés à des profondeurs variables

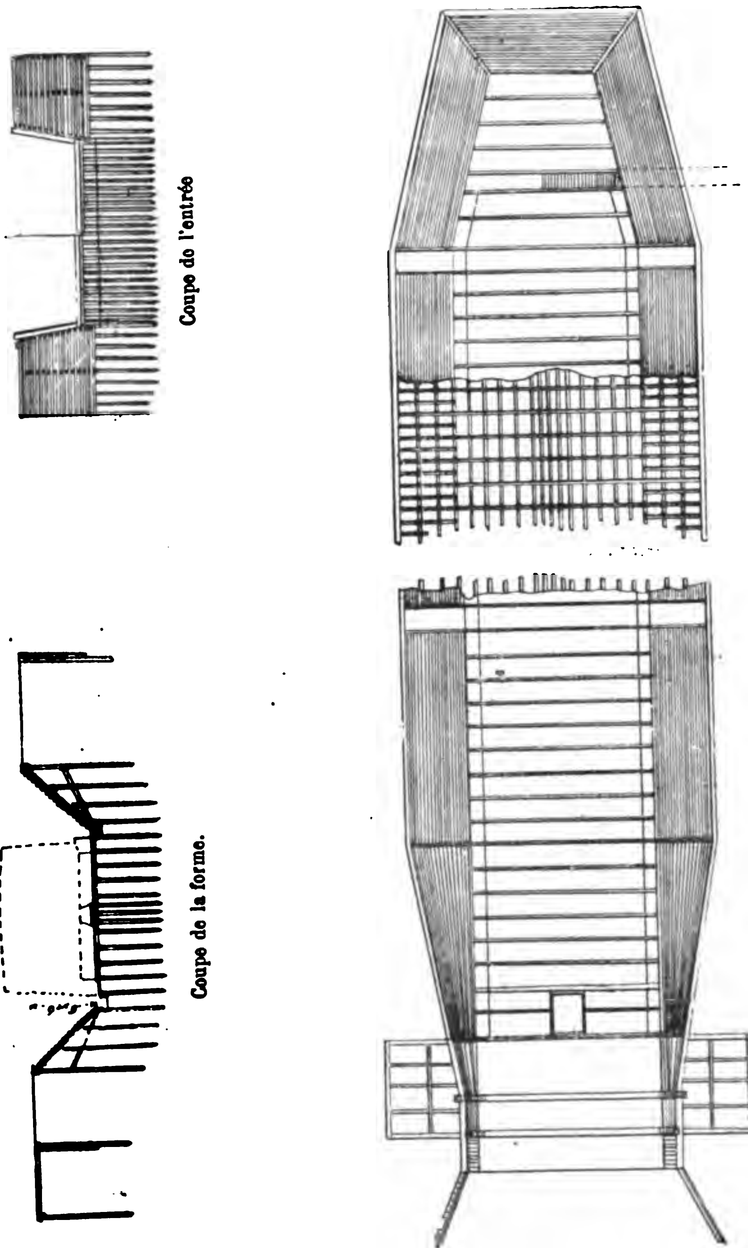


Fig. 328. — Lorain dry dock. Plan.

suivant le terrain. Dans le rectangle ainsi délimité, on bat des pilots de

30 *cm* espacés d'environ un mètre en largeur et 1,50 *m* en longueur et renforcés par des pieux supplémentaires au droit des tins. Sur ces pilots on fixe des longrines longitudinales qui portent des traverses espacées d'un mètre; ces pièces ont également 0,30 *m* de côté.

Le radier est formé d'un massif de béton de 1,50 *m* d'épaisseur, dont la face supérieure qui reste au-dessous des traverses est légèrement inclinée vers le centre où sont disposés des drains qui conduisent les eaux de filtration à un aqueduc de vidange. Sur les traverses sont cloués des madriers, formant le plancher du radier.

Les parois, inclinées à 40°, sont formées par des longrines reposant sur des pilots. Sur ces pièces on cloue des poutres presque triangulaires portant par leur diagonale, présentant ainsi une face verticale et une horizontale, formant marche et contre-marche de 25 *cm* de largeur; elles constituent les gradins. Ces poutres sont contiguës.

Sous les longrines inclinées on coule jusqu'à la hauteur de deux mètres une couche de béton; plus haut, on comprime de l'argile à mesure qu'on cloue les poutres.

A la distance de 8 mètres environ des bords du bassin on bat une seconde enceinte de palplanches jointives qui le protègent contre les infiltrations; entre les deux enceintes, le sol est pavé sur mortier.

L'entrée est fermée par un bateau-porte.

Un rapport récent de l'un des ingénieurs des États-Unis signale les avaries auxquelles sont sujettes les formes en bois, et qui nécessitent des dépenses rendant illusoires les économies réalisées sur leur construction et qui sont, dit-on, de 25 °/₀. Les Anglais en ont construit un seul, celui de Saint-John à Terre-Neuve; mais en Amérique sur les onze formes actuellement en construction, il n'y en a que quatre en maçonnerie.

Lorain dry dock (fig. 328). — Comme exemple de forme en bois, nous donnons la description de celui de Lorain, construit par M. Ritchie sur les bords de la Black River. Il mesure 155 mètres de longueur, 18 mètres de largeur à la base, 29,50 *m* au couronnement, et la hauteur de l'eau sur le seuil est de 5,20 *m*.

La construction s'est exécutée au milieu d'une enceinte étanche de pieux et palplanches, qui s'étend sur trois côtés. Le fond du bassin est consolidé par un pilotis très soigné, composé de quinze rangées longitudinales; dans les cinq files centrales, les pieux sont distants de

1,20 *m* d'axe en axe ; comme leur diamètre est de 30 *cm*, l'espace qui les sépare n'est que de 90 *cm*. Il en est de même des deux files extrêmes. Dans les autres, l'espacement est double.

La compression du terrain par ces pieux de grande longueur est telle que l'obturation presque complète des sources a été obtenue.

Une forte couche d'argile comprimée a achevé l'assèchement ; puis les têtes des pieux ont été réunies par des longrines sur lesquelles sont encore placées des traverses.

Le plancher, formé de madriers de 10 *cm* d'épaisseur, est posé sur des poutrelles et laisse saillir les traverses de 10 à 15 *cm* ; il est incliné vers les côtés, où se trouvent les cuvettes qui, par un caniveau transversal se vident dans un tunnel en briques de 1,50 *m* de diamètre, aboutissant au puisard des pompes.

Les bajoyers sont construits de la même façon, avec des pieux encore plus longs ; les talus des gradins sont formés de pièces de 35 *cm* coupées suivant la diagonale.

Dans l'entrée, protégée de chaque côté par deux cribs de 10×9×7 mètres, le corroi d'argile est remplacé par une couche de béton de 1,20 *m* d'épaisseur. Le fond de la fosse à gouvernail est aussi en béton ; ses dimensions sont 3×4,5×3 mètres.

Le bateau-porte est en acier. Les pompes débitent 3700 litres à la seconde et demandent moins de deux heures pour l'épuisement.

Formes flottantes. — *a. En bois.* — On trouve dans un certain nombre de ports et même au Havre des formes flottantes en bois. Celles-ci représentent un caisson rectangulaire de 64 mètres de longueur, 17 mètres de largeur, évidé à l'intérieur en forme de trapèze. Les cloisons qui constituent cette chambre forment donc avec les parois extérieures des caisses étanches, qui assurent la flottabilité de l'appareil.

A l'avant est ménagée une chambre où s'installent les pompes et leurs moteurs. L'arrière n'est fermé que par une porte qui se rabat en dessous autour d'un axe horizontal.

En laissant entrer l'eau par une vanne, le caisson s'immerge, le navire à réparer y entre ; et, la vanne et la porte fermées, on épuise l'eau tant des caisses étanches que de la chambre médiane. Le caisson, se relevant, met à sec le bâtiment que l'on accore. La manœuvre inverse

permet de faire sortir le navire. Bien entendu, la partie supérieure du caisson reste toujours au-dessus du niveau de l'eau.

Cet appareil nécessite un entretien soigné pour le préserver des tarets et de la pourriture. On peut le visiter dans un des bassins de radoub ou sur un slipway spécial.

La profondeur du bassin où l'on opère la profondeur limite à laquelle on peut couler la forme et par conséquent le tirant d'eau du navire qu'on peut soulever.

b. Métalliques. — On a remplacé avec avantage le bois par le métal pour la construction des formes flottantes.

Celui qui existe dans l'arsenal militaire de Carthagène a comme dimensions : longueur : 99 mètres, largeur 32 mètres et hauteur 14,70 *m*. La partie inférieure constitue la chambre à air ; elle a 4,50 *m* de hauteur et est partagée par une cloison longitudinale et 10 cloisons transversales en 20 compartiments. Sur les côtés sont ménagées des chambres étanches.

Deux machines horizontales actionnent deux paires de pompes servant à l'épuisement.

Le bassin flottant de Rotterdam se compose de deux parties : l'une de 48 mètres, l'autre de 90 mètres, qui peuvent servir ensemble ou séparément. La largeur est de 27,40 *m*; la hauteur est de 3 mètres au milieu et 2,70 *m* sur les côtés ; celle des caissons latéraux au-dessus des plafonds de 7,50 *m*. Dans le grand tronçon, le flotteur inférieur est divisé en douze compartiments et dans le petit en huit. La chambre intérieure a 21,40 *m* au sommet et 20,40 *m* à la base.

Les deux parties sont réunies par des tenons placés au bout de raccord de chacun d'eux, attachés par des chaînes aux bittes d'amarrage de l'autre section, et en outre par des chaînes fixées aux parois extérieures.

Les pompes sont centrifuges ; celle de la grande forme a 500 *mm* de diamètre, l'autre 375 *mm*; l'épuisement se fait en deux heures.

Le dock, placé dans un bassin spécial dragué à 10 mètres au-dessous de A. P. ne reçoit que des navires calant au maximum 6 mètres. La portion de 48 mètres, dont le poids est de 1 400 tonnes, peut porter une surcharge de 2 300 tonnes ; celle de 90 mètres qui pèse 2 500 tonnes en porte 4 300. Ensemble elles peuvent recevoir un navire pesant 6 600 tonnes.

Pour réparer cette forme, on la soulève par une autre en bois construite spécialement; mais c'est là une installation toute particulière.

Dock de Saint-Paul de Loanda (fig. 329). — Ce dock flottant en acier présente quelques dispositions intéressantes. Les six pontons qui supportent les caissons latéraux sont indépendants et peuvent être isolés en cas de réparation. L'adjonction d'autres pontons permettrait aussi l'allongement du dock.

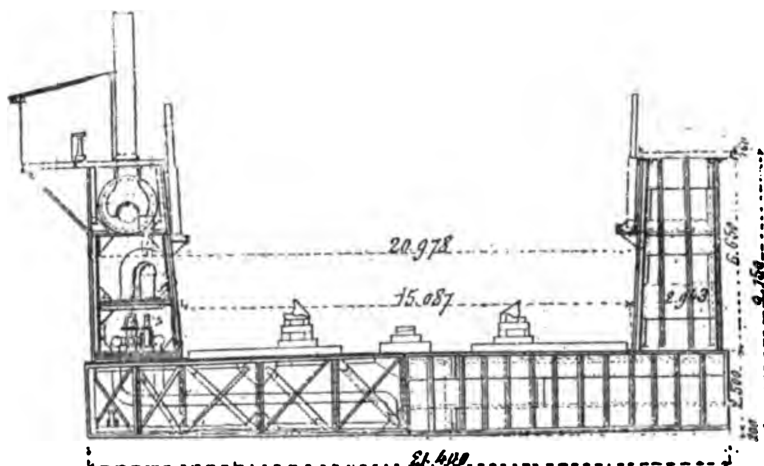


Fig. 329. — Dock do Saint-Paul de Loanda.

La longueur actuelle est de 61 mètres ; la largeur intérieure de 15 mètres, l'extérieure de 21 mètres. Les pontons, en tôle d'acier de 11 *mm* d'épaisseur ont 9,90 *m* de longueur, leur hauteur varie de 2,80 *m* sur l'axe à 2,50 *m* sur les côtés. Le fond est recouvert d'une couche de ciment de Portland de 20 *mm* d'épaisseur.

Les caissons latéraux sont boulonnés sur les pontons ; chacun d'eux est divisé en quatre compartiments étanches par des cloisons verticales; le contreventement est complet.

Dans chaque caisson est placée une pompe centrifuge dont le tuyau de refoulement a 40 *cm* de diamètre. Les tuyaux d'admission de l'eau ont 25 *cm* de diamètre; ils sont munis de deux soupapes, l'une intérieure, l'autre extérieure, permettant d'arrêter à volonté l'accès de l'eau.'

Le dock a été remorqué au Congo tout monté; il est ancré par quatre chaînes de 32 *mm* de diamètre.

Les cales comme celles de Rotterdam ou de Saint-Paul de Loanda

servent directement à la réparation des navires ; à Carthagène, de même, mais il y a ici une installation supplémentaire très avantageuse.

La forme flottante est surtout employée pour soulever les navires que l'on hisse ensuite sur une cale de halage ordinaire, dont elle remplace la partie immergée. On la fait entrer dans un bassin maçonné, comme un bassin de radoub, de 110 mètres de longueur moyenne, terminé par une partie arrondie d'où partent trois slipways glissants. On ferme par un bateau-porte et l'on dispose les tins de ces slipways à la hauteur de ceux du caisson ; on peut alors tirer les bâtiments à terre. Les slipways sont assez longs pour recevoir à la fois deux navires.

Grils pour torpilleurs. — Pour de petits navires comme les torpilleurs, le système précédent peut être appliqué avec avantage. On n'a qu'à donner au gril une profondeur suffisante afin de recevoir plusieurs

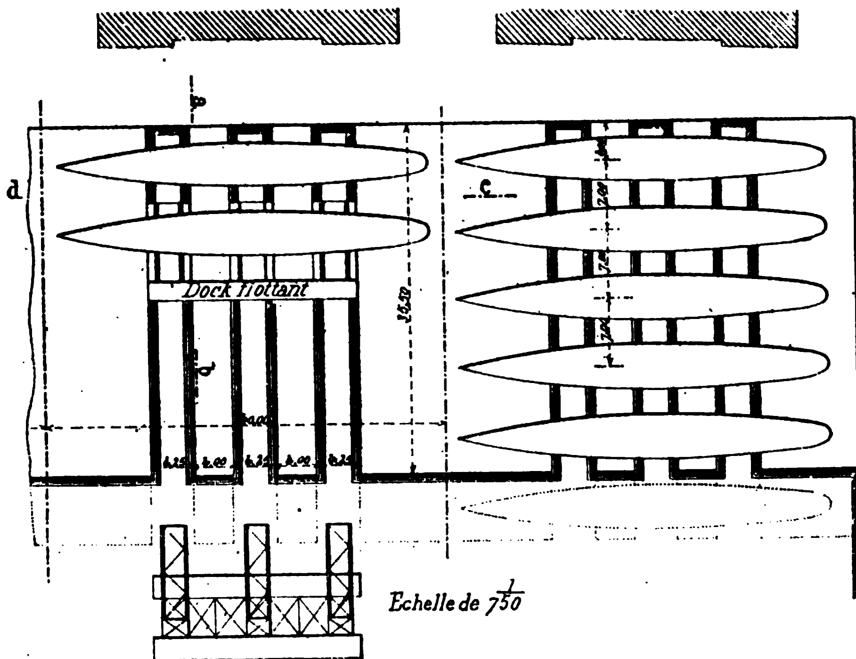
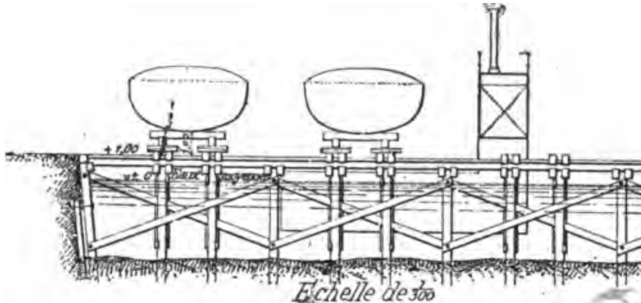


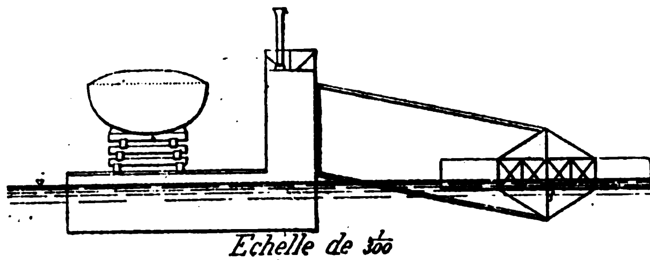
Fig. 330. — Dock flottant pour torpilleurs. — Plan général.

de ces bâtiments à côté les uns des autres, et d'autre part à installer deux ou trois grils à la suite, pour pouvoir réparer à la fois un grand nombre de torpilleurs. On arrivera ainsi aux dispositions représentées par les figures 330 et 331.

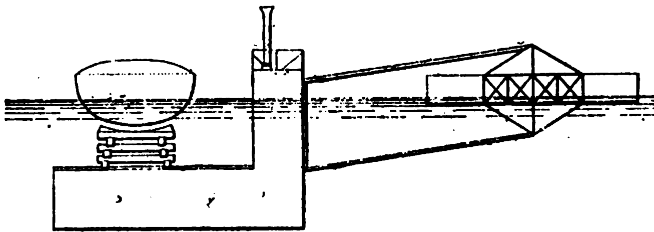
Sectional dock. — La forme flottante de Rotterdam se compose de deux portions qu'on peut réunir, le *sectional dock* comprend dix ou douze segments plus courts, c'est toute la différence. On en immerge le nombre suffisant sous le navire qu'on veut soulever, en disposant préalablement, pour recevoir la quille, un berceau monté sur une voie ferrée, puis l'on étanche l'eau.



Coupe suivant *ab*.



Dock soulevé.



Dock enfoncé.

Fig. 331. — Dock flottant pour torpilleurs.

Comme à Carthagène on peut faire la réparation sur le dock lui-même, mais on ne s'en sert guère que comme de flotteur pour porter le navire devant un slipway; l'installation de Dantzig n'est que la reproduction de celle de l'arsenal espagnol.

Le *sectional dock* agit surtout par les flotteurs inférieurs ; il en résulte que la charge étant située très haut, l'équilibre est assez difficile,

surtout à cause de l'irrégularité de l'émersion des flotteurs. Des appareils de ce genre ont coulé à Batavia et à Saïgon. Sur un autre, au Callao, une frégate mal accorée a chaviré en faisant périr cent cinquante hommes.

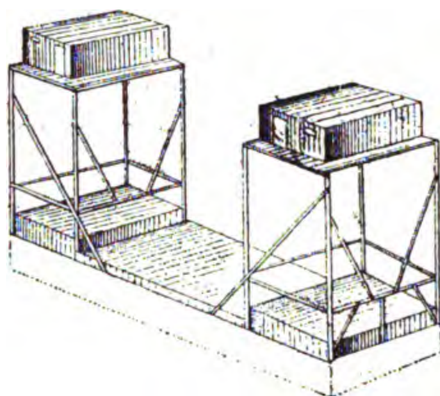
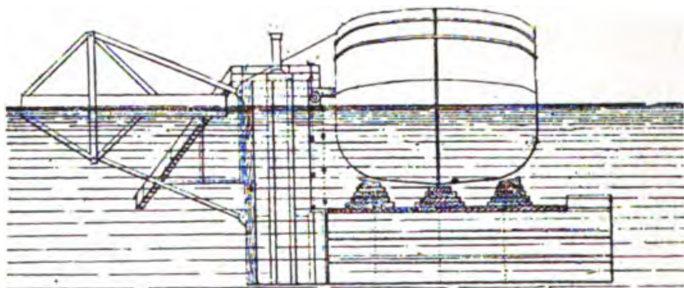


Fig. 332. — Balance dock.

Balance dock. — Ici les caisses sont latérales et émergent ; le navire est porté par des traverses horizontales qui réunissent les flotteurs par le dessous. L'équilibre est donc plus stable (fig. 332).

Ces deux derniers appareils sont surtout employés en Amérique.



Forme prenant le navire.

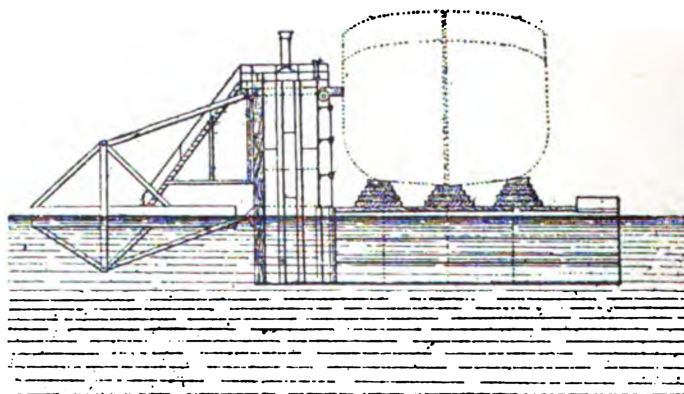


Fig. 333. — Forme Clark et Stanfield. Forme émergée.

Forme Clark et Stanfield. (fig. 333). — La forme flottante dans ce système ne sert qu'à soulever les navires et à les déposer sur un

gril de carénage fixe établi au-dessus du niveau de la haute mer, d'où son nom de *depositing dry dock*.

L'appareil de levage se compose, à Nicolaieff, de 14 pontons parallèles, espacés de 1,50 *m* et constitués par des caisses rectangulaires de 21,60 *m* de longueur, 4,50 *m* de largeur et 5,40 *m* de hauteur, partagées dans leur longueur, par des cloisons verticales étanches, en six compartiments. Les quatre du milieu sont encore divisés en deux par des cloisons horizontales. Les chambres inférieures ne contiennent que de l'air et suffisent pour que, toutes les autres étant pleines d'eau, la surface supérieure des pontons émerge.

Ceux-ci sont fixés au bas d'un long caisson de 84×3,60×13,50 *m*, partagé par des cloisons étanches en nombreux compartiments ; il porte les machines et les pompes d'épuisement.

De l'autre côté se trouve un chaland flotteur, immergé à moitié, servant de contrepoids et ayant 84×13,50×1,80 *m*.

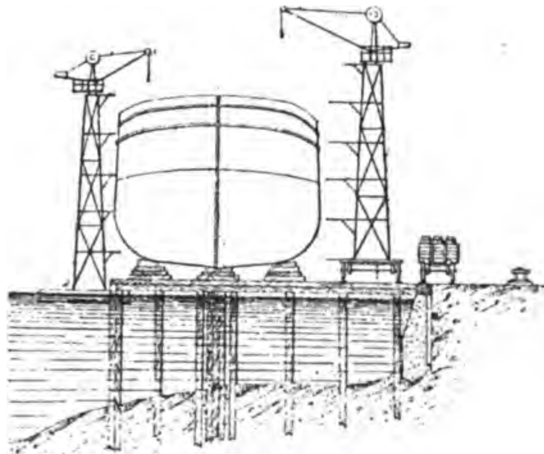


Fig. 334. — Navire sur le gril.

Le long caisson et les chalands se composent de trois parties, dont les extrêmes mesurent 30 mètres de longueur et portent chacune cinq pontons; la partie médiane n'a que 24 mètres et porte quatre pontons.

Le contrepoids de chaque partie est formé de deux flotteurs de 4,50 *m* de largeur, réunis par des poutres transversales. Il y a donc en tout 6 flotteurs, partagés par des cloisons étanches.

Les contrepoids sont reliés au long caisson par un système de barres articulées en parallélogrammes verticaux ; chaque parallélogramme comprend deux barres de 12,90 *m* de longueur, fixées par des charnières — d'une part l'une au sommet du long caisson, l'autre à la hauteur de la flottaison quand le dock est émergé — d'autre part au sommet et à la base de colonnes verticales portées par les flotteurs et

ayant pour longueur la distance des points d'attache des barres sur le caisson.

Celui-ci contient les machines d'épuisement, pompes rotatives mues par locomobile.

Les pontons, remplis d'eau et immergés, sont amenés sous le navire qui vient reposer sur des tins et est calé par des étais mobiles. A ce moment, le contrepoids est en haut. On épuise ensuite l'eau des pontons, le navire est soulevé et le contrepoids abaissé.

On conduit le navire sur le gril, composé de poutres horizontales reposant sur des pilots ; les poutres sont assez écartées pour qu'on fasse pénétrer entre elles les pontons, qu'on abaisse ; le navire reste posé sur le gril et on l'accore.

On peut avec un ponton desservir plusieurs grils, et l'employer lui-même à la réparation d'un navire.

Le dock peut être segmenté en plusieurs parties et recevoir un grand bâtiment ou deux ou trois petits ; la longueur des bateaux n'est donc pas limitée. L'appareil offre toute sécurité de manœuvre, facilité de visite, sécurité, bon marché. Son principal inconvénient est la grande place qu'il occupe. On ne saurait d'ailleurs l'employer dans les ports à marées prononcées, à cause de la fixité du gril, qui doit toujours être au-dessus du niveau de l'eau. Il en existe à Barrow et à Vladivostock.

Nouveau dock Clark et Stanfield. — Pour le Roath Basin de Cardiff, les mêmes constructeurs ont installé le système représenté par la figure 335.

La forme se compose d'un ponton, sur l'un des côtés duquel s'élève une charpente formant avec lui un dièdre droit ; l'ensemble représente donc un L. Le ponton est divisé en compartiments étanches, munis de vannes latérales.

Le ponton rempli et immergé reçoit le navire qu'on accore ; on pompe l'eau et l'ensemble s'élève.

Pour le maintenir horizontal, de la branche verticale du système partent onze paires de pièces articulées en parallélogrammes. La pièce supérieure est liée par un tourillon à une charpente en A, oscillante autour d'un axe fixé sur une colonne verticale implantée dans le quai.

Les deux branches de l'A portent chacune un contrepoids, et au sommet est fixée une tige reliée aux vannes du ponton.

Si celui-ci donne de la bande, au large par exemple, la pièce supérieure du parallélogramme est tirée ; l'A s'incline et la tige du sommet ferme les vannes du côté trop chargé ; l'équilibre se rétablit.

Dans ce système, le navire reste sur le ponton. A Cardiff, l'appareil se compose de deux parties qui peuvent être manœuvrées séparément ; elles portent des navires, l'une de 2 000, l'autre de 2500 tonnes. La manœuvre s'effectue en une heure et demie.

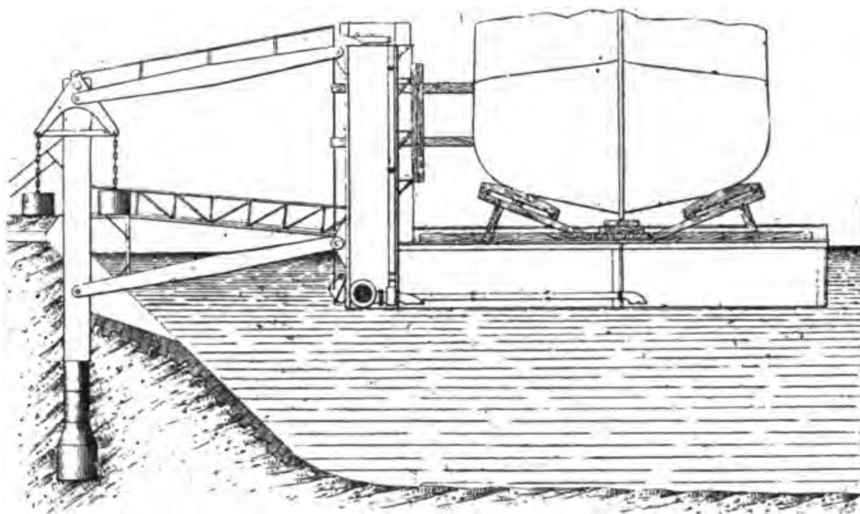


Fig. 335. — Nouveau dock Clark et Stanfield.

Aux chantiers Vulcan de Stettin un des docks flottants du système Clark et Stanfield peut soulever des navires de 11 000 tonneaux. Sa longueur est de 155.40 *m* ; sa largeur de 33,75 *m* et la hauteur de 13,29 *m*. Il est partagé en 38 compartiments étanches.

Quatre machines de 125 chevaux chacune, actionnant deux pompes centrifuges, soulèvent un navire de 11 000 tonneaux en deux heures et demie.

A Algiers, en face de la Nouvelle-Orléans, un dock de ce genre vient d'être établi, qui peut soulever les cuirassés de 15 000 tonnes, avec 8,20 *m* de tirant d'eau.

Appareil hydraulique d'Edwin Clarke (fig. 336). — Dans cet appareil des presses hydrauliques soulèvent le navire et le posent sur un ponton. Il se compose de deux rangées de colonnes creuses en fonte de 1,525 *m* de diamètre et de 18,30 *m* de hauteur dont 3,70 *m*

environ sont fichés dans le sol et remplis de béton. Les rangées sont éloignées de 6,10 *m* d'axe en axe. Les 16 colonnes d'une rangée donnent une longueur de 93 mètres.

Chaque colonne contient une presse hydraulique dont le piston a 254 *mm* de diamètre et 7,625 *m* de course. En haut le piston porte une traverse dont les extrémités dépassent la colonne et glissent dans des rainures pratiquées suivant deux génératrices.

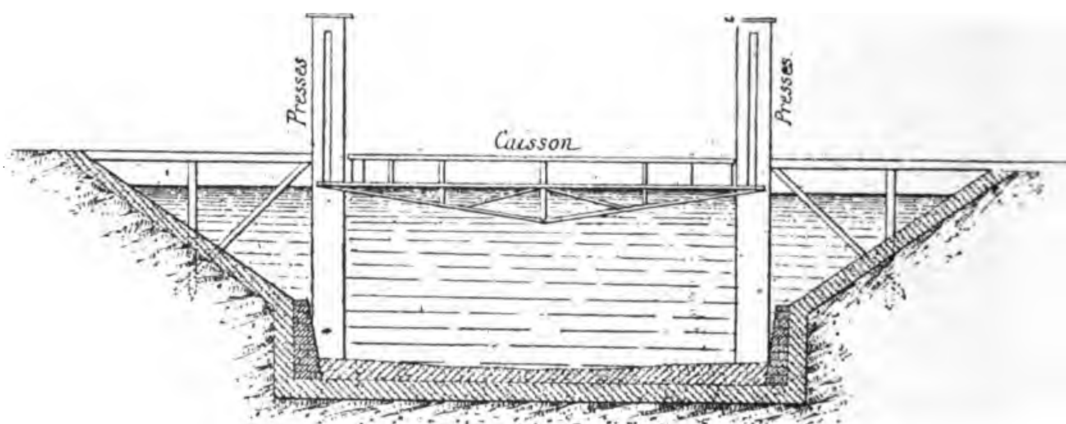


Fig. 336. — Appareil Edwin Clarke.

Cette traverse supporte deux tirants qui eux-mêmes portent une grande entretoise horizontale de 20,74 *m* formée de deux poutres jumelles.

Les pistons étant au bas de leur course, l'entretoise est au fond du bassin à 8,50 *m* de profondeur. Sur la rangée d'entretoises on échoue un ponton en ouvrant des bondes inférieures ; le navire est alors amené au-dessus, entre les colonnes.

Navire et ponton sont soulevés par des presses hydrauliques ; quand le dernier est hors de l'eau, il se vide ; les bondes sont fermées et les pistons abaissés ; le ponton flotte, portant le navire accoré. On le retire des colonnes et il va occuper une place dans un bassin peu profond, où se fait la réparation. L'opération, qui dure 40 minutes, peut se répéter autant de fois qu'on a de pontons.

Pour assurer la régularité de l'ascension, les presses sont partagées en trois groupes, alimentés chacun par un réservoir distinct. Ces réservoirs sont placés sous les yeux d'un surveillant qui, par la manœuvre d'un robinet, peut corriger les différences éventuelles de niveau.

Le tirant d'eau des navires soulevés aux Victoria Docks de Londres

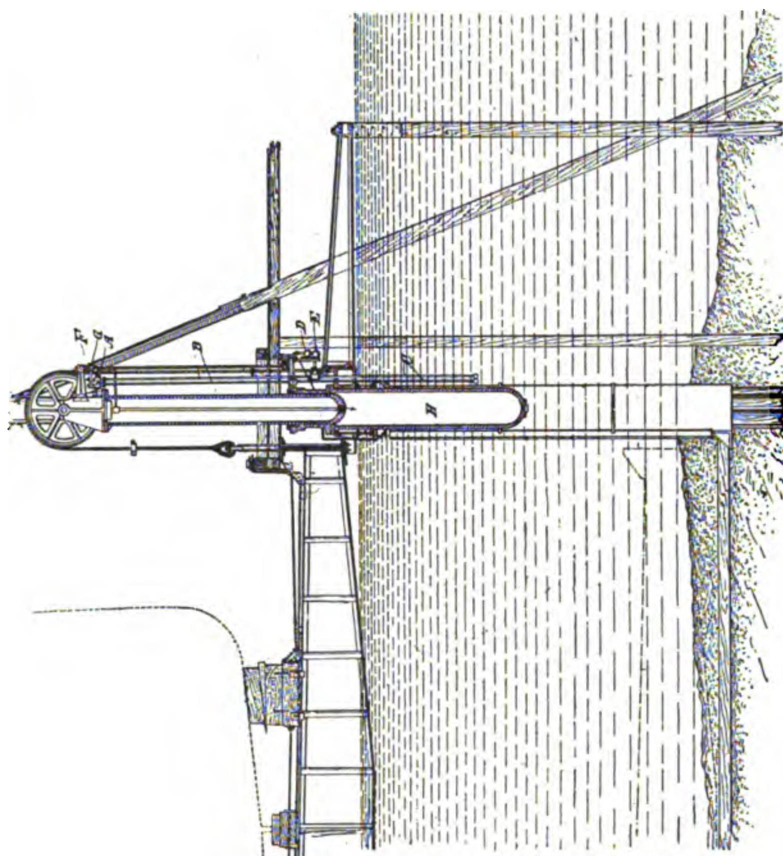
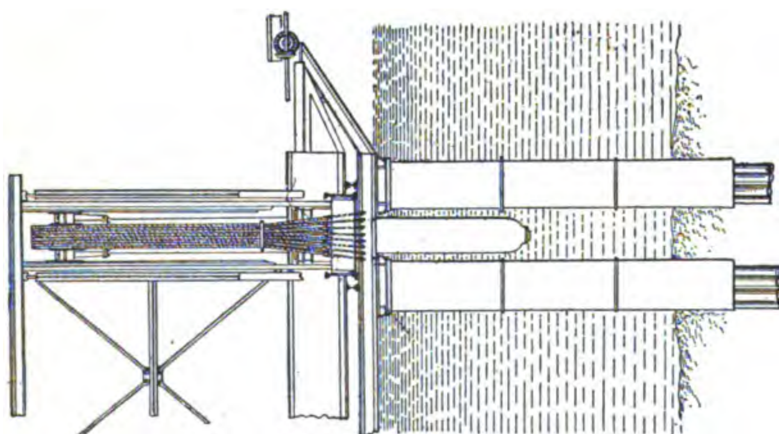


Fig. 337. — Élévateur de San-Francisco. Coupe longitudinale.



Coupe transversale.

où l'appareil a été établi n'est au maximum que de 5,72 *m*. Le côté délicat de l'opération est le transport du navire jusqu'au bassin spécial sur un ponton d'un faible tirant d'eau.

Appareil élévateur de San Francisco. — Il est également formé de presses hydrauliques, au nombre de 36, qui soulèvent le navire ; mais celui-ci est porté sur une simple plateforme fixe où se font les réparations.

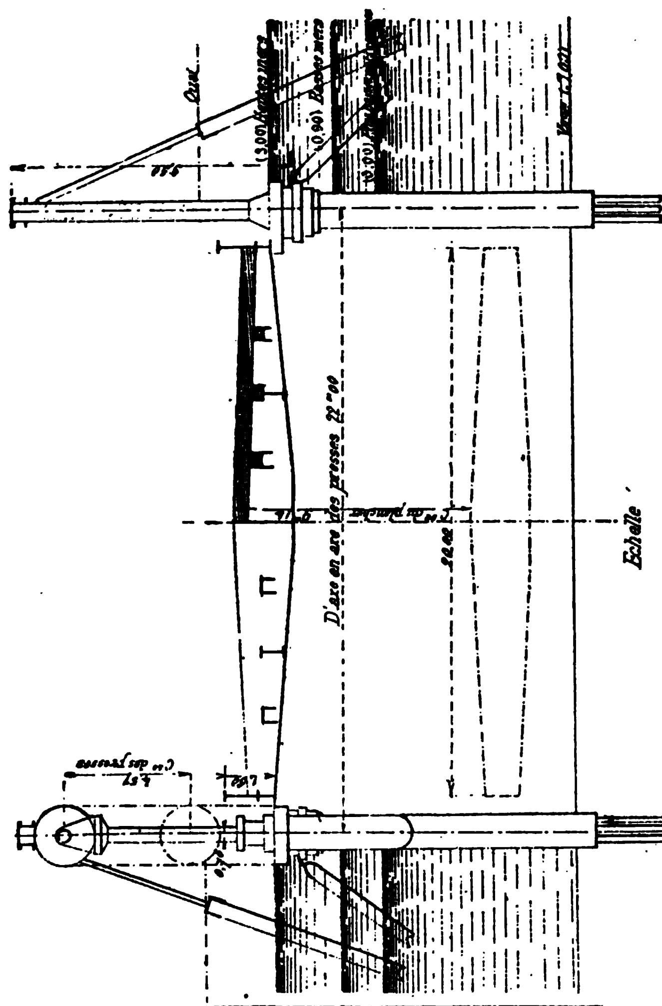


Fig.. 337 — Elévateur de San-Francisco. Coupe.

La plateforme (fig. 337) repose sur des traverses ; le soulèvement est opéré par des câbles en acier passant sur des rouets de 1,90 *m* de

diamètre, portés par l'extrémité supérieure des pistons. L'un des bouts du câble fait dormant sur la base du cylindre, l'autre est fixé sur la traverse ; de cette façon la plateforme peut être soulevée d'une hauteur de 9,14 *m*, double de la course du piston qui est 4,57 *m*.

La difficulté de cette installation, comme celle de Victoria docks, est d'assurer la concordance de la marche de tous les pistons, pour que l'appareil ne soit pas soumis à des déformations. On trouvera dans un mémoire de M. Van Blarenberghe [1] la description de l'ingénieux procédé employé pour obtenir la régularité absolue.

La puissance de soulèvement de cet appareil est de 8 000 tonnes ; l'opération s'effectue en trois heures.

Comparaison des divers systèmes. — La forme de radoub en maçonnerie est, sans contredit, le meilleur de tous les systèmes ; elle n'offre aucun inconvénient et peut toujours être proportionnée aux dimensions du navire à recevoir. Dans certains terrains, son prix est minime, car les maçonneries ne sont qu'un revêtement de faible épaisseur. Au contraire, les difficultés de la fondation dans les sols vaseux en rendent très coûteux l'établissement et il peut devenir financièrement impossible.

Dans ce cas les bassins flottants métalliques sont une solution encore très acceptable, et ils ont même l'avantage de la rapidité de manœuvre, de l'accommodation des dépenses d'épuisement aux dimensions des bâtiments.

Les systèmes élévatoires ont rendu des services dans les localités où ils ont été installés. En général pourtant on n'a recours à ces moyens mécaniques que dans les cas où il est impossible d'installer des bassins fixes ou flottants.

L'installation des moyens de réparation des navires est indispensable dans tout port à grand trafic ; elle s'impose parfois par les circonstances. Ainsi à Table-Bay, à Maurice, les Anglais en ont construit parce que ce sont là des points de relâche pour les navires qui ont pu subir des avaries dans le voisinage du cap de Bonne-Espérance, où la mer est toujours mauvaise.

Les bassins de radoub, surtout les formes flottantes, sont placés dans des endroits bien abrités. Cependant à Valparaiso il existe en pleine rade deux cales en bois, mouillées par des fonds de 40 mètres,

(1) *Annales des Ponts et Chaussées*, avril 1892.

et qui subissent parfois des tempêtes avec des navires enfermés dans leur chambre. Les moyens d'attache par corps morts doivent être alors exceptionnellement résistants.

Nombre et dimensions des bassins de radoub. — En Angleterre, le nombre des bassins de radoub est considérable. Même de tout petits ports en sont pourvus. Quant aux grands, ils en possèdent de nombreux, et en moyenne on peut estimer qu'il y en a un pour 800 navires entrant, déduction faite des caboteurs de faibles dimensions.

Londres en a maintenant plus de soixante, Liverpool en possédait 21 en 1890 donnant une longueur totale de 3 800 mètres de radier. Avec les nouvelles transformations plusieurs des anciens sont supprimés et remplacés par de nouveaux, plus grands.

Les plus longs sont :

Nouvelle cale du Canada Dock : 280,60×28,65 *m* avec 7 mètres d'eau sur le seuil en morte eau et 10,40 *m* aux vives eaux. Ce bassin a été construit en vue de l'*Oceanic*. Les pompes le videront en une heure et demie.

Les trois cales d'Herculanum dock ont 230 *m*, 231 *m* et 234 mètres avec 18 mètres de largeur.

Les deux de Langton dock ont chacune 290 mètres de longueur et peuvent se subdiviser en deux portions de 137 et 152 mètres.

Deux bassins de Birkenhead ont 229 mètres et un 233 mètres.

En France, on en compte 6 à Marseille et au Havre, 4 à Dunkerque, et il y en a encore de un à trois dans les ports suivants : Calais, Dieppe, Cherbourg, Paimpol, Saint-Nazaire, la Pallice, Bayonne. Des cales de halage existent à Dunkerque, Bordeaux, Rouen.

En 1876 il n'y avait de bassins qu'à Marseille, le Havre et Bordeaux.

Anvers possède six formes.

Exemples de divers bassins de radoub. — *Cessnock dock, Glasgow.* — On a aux nouveaux docks de Cessnock trois bassins de radoub. Les deux premiers ont 170 et 175 mètres de longueur au radier ; mais le dernier en a 270. Ses autres dimensions sont les suivantes :

Largeur à la chambre d'entrée	. . . .	25,30 *m*
Largeur du bassin proprement dit au sommet		35
» »	à la base .	25
Hauteur d'eau sur le seuil à haute mer	. . .	7,90
» »	basse mer. . . .	4,70

La figure 338 indique le profil intérieur des petites formes et la figure 339 celui de la grande ; elles sont construites en béton et briques.

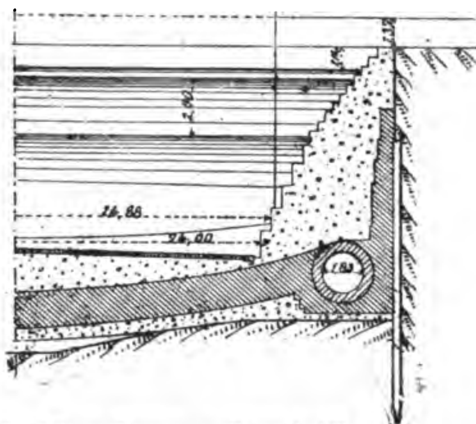


Fig. 338. — Glasgow. — Forme de 175 mètres.

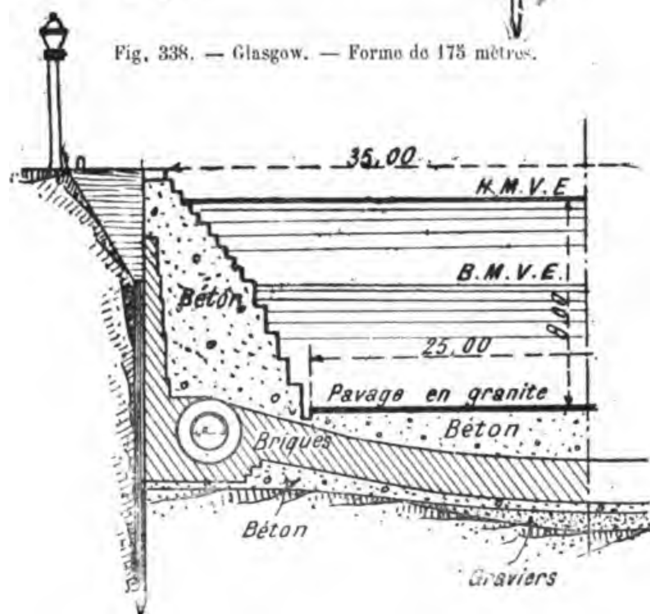


Fig. 339. — Glasgow. — Forme de 270 mètres.

La longueur totale de la grande est partagée en deux parties longues de 128 et 140 mètres.

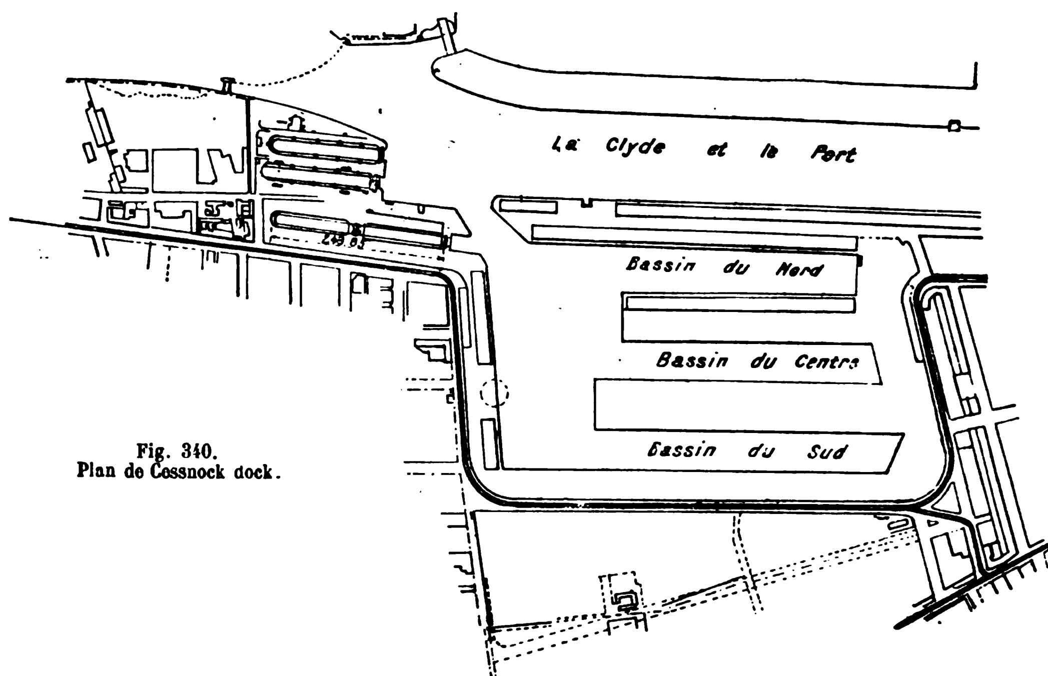


Fig. 340.
Plan de Cessnock dock.

Dunkerque. — La forme n° 4 de Dunkerque est la plus grande de France ; elle a 190 mètres de longueur utile, 21 mètres de largeur au radier et 27,50 *m* à la crête. Son seuil, à la cote — 2,10 *m*, lui permet de recevoir des navires de 8 mètres de tirant d'eau.

Les bajoyers des chambres d'entrée sont inclinés au tiers ; aussi les rainures des bateaux-portes, d'un mètre, sont-elles complètes. Ceux du sas comprennent quatre étages égaux, les banquettes ont un mètre de largeur ; deux ressauts sont établis au pied des bajoyers, et les cuvettes ne sont établies qu'à 6,10 *m* de l'axe.

Il existe une fosse à gouvernail à chaque extrémité de la forme, de 6 mètres de largeur et 4 mètres de profondeur.

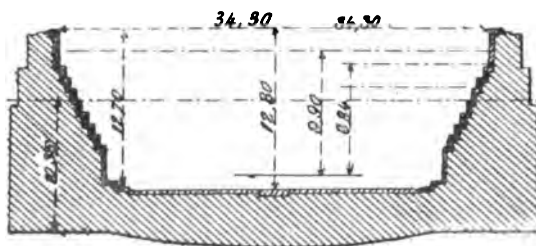


Fig. 341. — Cale de Southampton. — Coupe AA.

Comme les autres formes construites aux bassins Freycinet, elle est à double entrée, l'une sur l'avant-port, l'autre sur les bassins; elle pourrait donc servir d'écluse au besoin.

Southampton. — Dimensions : longueur au radier, 228,75 *m* ; lar-

geur à la base, 26,70 *m*, au couronnement 34,15 *m*; profondeur d'eau en haute mer de vive eau, 9,50 *m* (fig. 341).

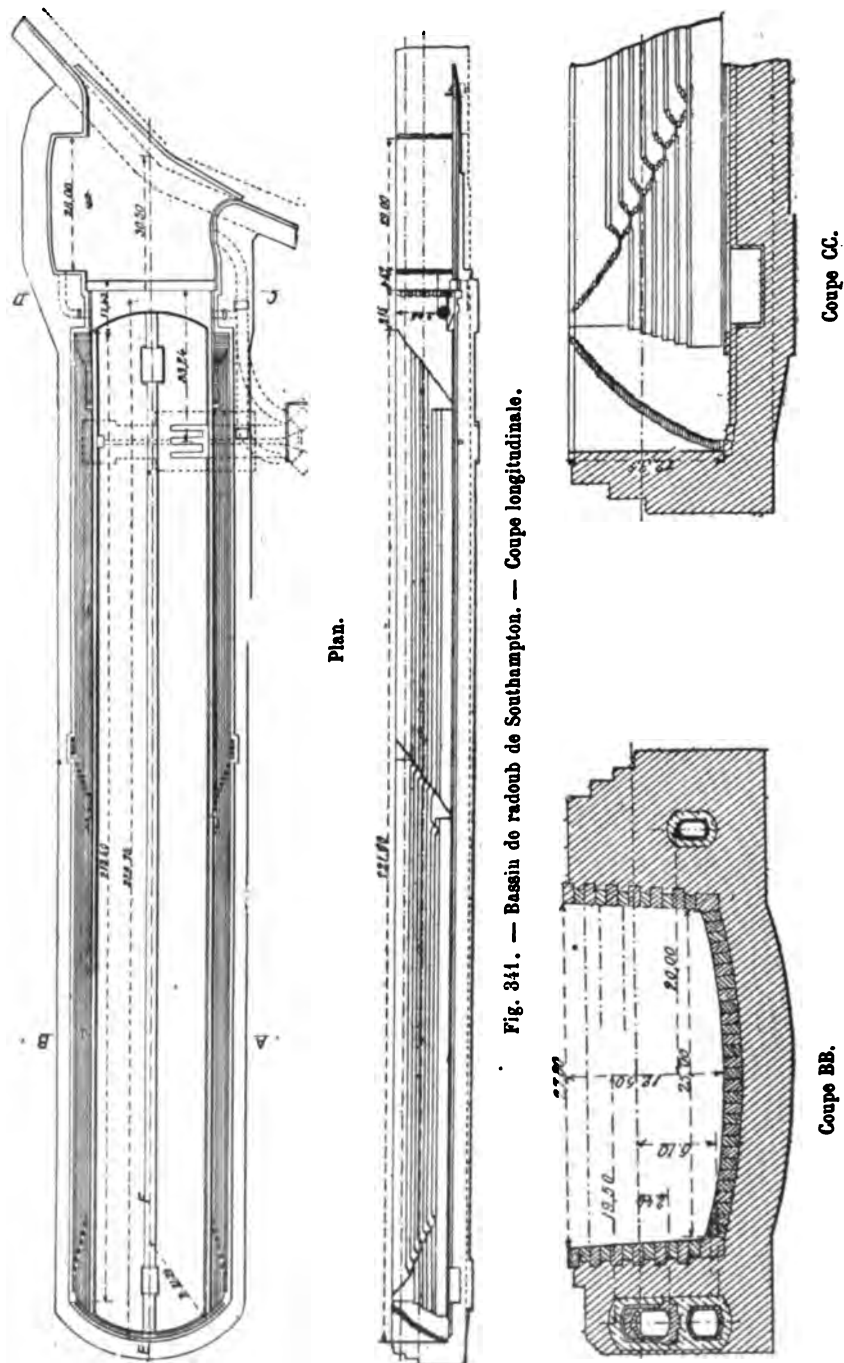
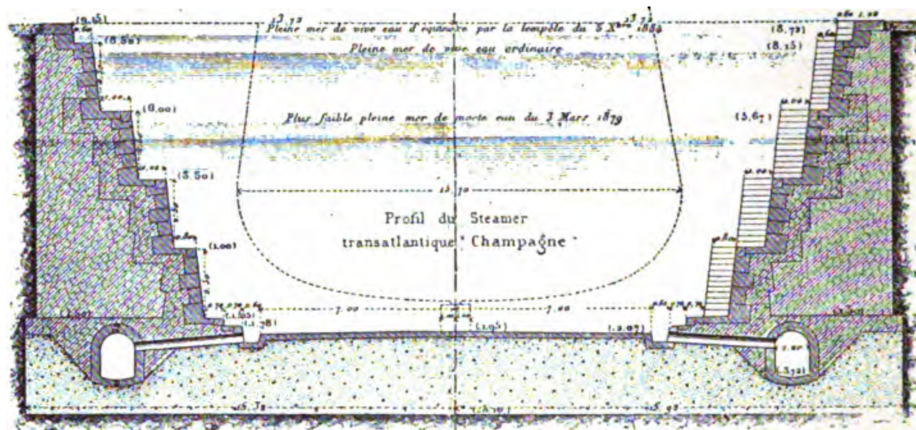


Fig. 341. — Bassin de radoub de Southampton. — Coupe longitudinale.



Coupe de la forme.

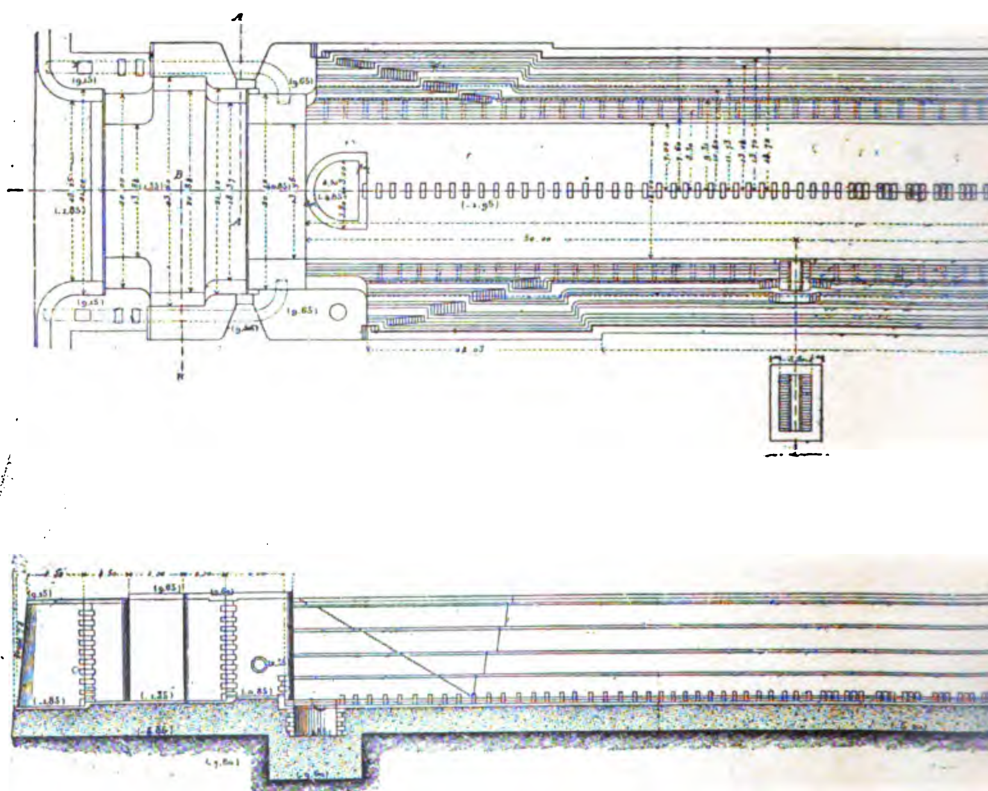


Fig. 342. — Forme nº 5 du Havre

Pleine mer de vive eau d'équinoxe par la tempête du 5 Xbre 1884 (8,70)

Pleine mer de vive eau ordinaire (8,15)

Plus faible pleine mer de morte eau du 3 Mars 1873 (5,67)

Coupe de l'écluse.

Plan.

Coupe longitudinale.



Fig. 343. — Forme No 3 de Missiessy.

La maçonnerie est toute en béton au huitième, avec revêtement en briques. Le profil se compose de huit gradins de granite de 90 *cm* de hauteur et 45 *cm* de largeur. L'extrémité n'est pas terminée en hémicycle, mais par une paroi verticale en arc de cercle. Le radier est légèrement convexe et les eaux s'écoulent latéralement le long des banquettes.

Il existe une fosse à gouvernail à chaque extrémité ; elles ont 2,45 *m* de profondeur et sont bordées en briques.

Le seuil contre lequel bute le bateau-porte est en granite ; chaque pierre pèse 5 tonnes.

Deux aqueducs longitudinaux servent au remplissage de la forme ; ils ont 2,15 $\times$ 1,40 *m*.

Le bateau-porte pèse 436 tonnes et est lesté de 480 tonnes, ce qui lui donne un déplacement de 916 tonnes quand il est en place. Avec le lest additionnel d'eau, il pèse 1 425 tonnes.

La machinerie se compose de deux pompes rota-

tives *Invincible*, pouvant enlever 9 mètres cubes par seconde ; la vidange s'effectue en deux heures et demie. Les infiltrations sont

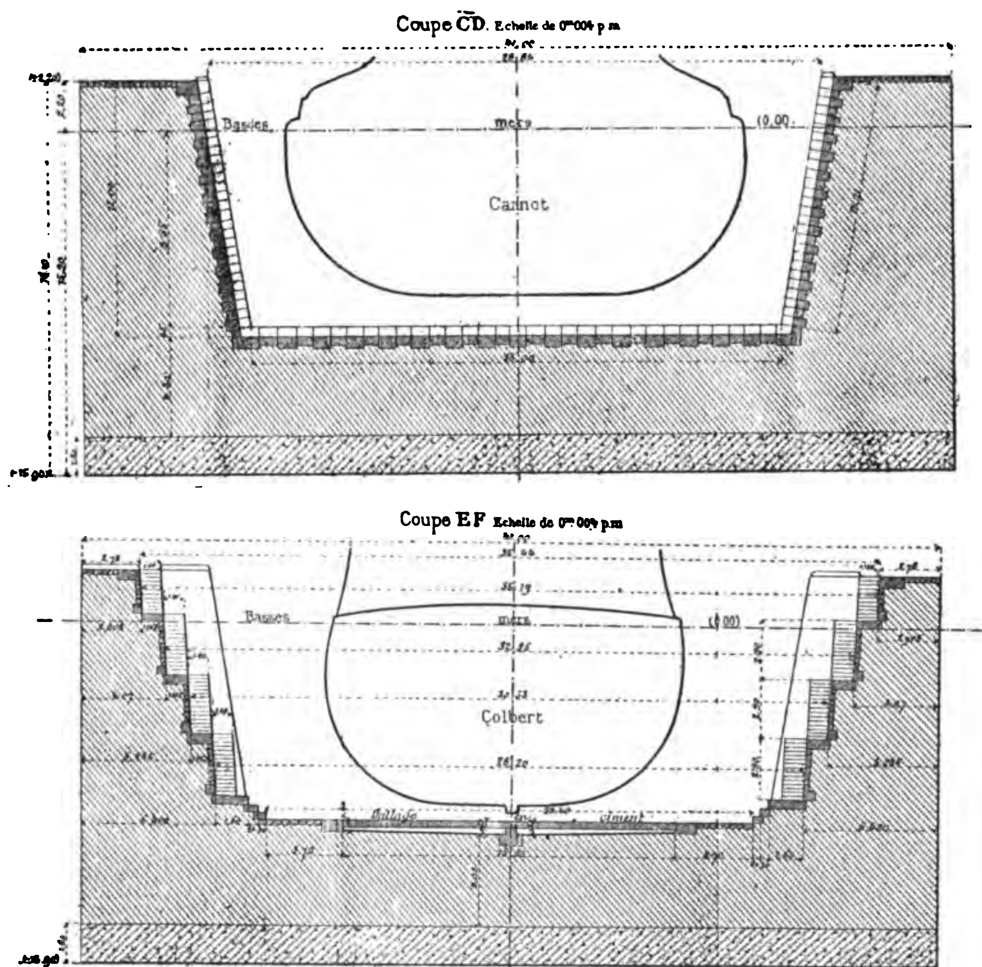


Fig. 343. — Forme n° 3 de Missiessy.

enlevées par une petite pompe de même modèle.

Le Havre. — Les figures 342 représentent les détails de la forme n° 5 du Havre et les figures 343 ceux du nouveau bassin de Missiessy, qui ont été décrits dans divers chapitres.

Newport. — On a déjà vu, la méthode suivant laquelle on a conduit les fouilles de ce bassin de radoub. Les maçonneries ont toutes été exécutées en béton. Les figures 305 indiquent l'établissement

des pilotis, plus ou moins importants suivant les parties. Le béton était déposé par couches de 30 à 45 *cm* et pilonné entre les planches du gabarit. On obtenait un parement convenable en enduisant les planches de pétrole non rectifié ou mieux en les nettoyant parfaitement. Le béton de parement était dosé à 1 sur 6, tandis que celui de remplissage atteignait la proportion de 1 sur 11.

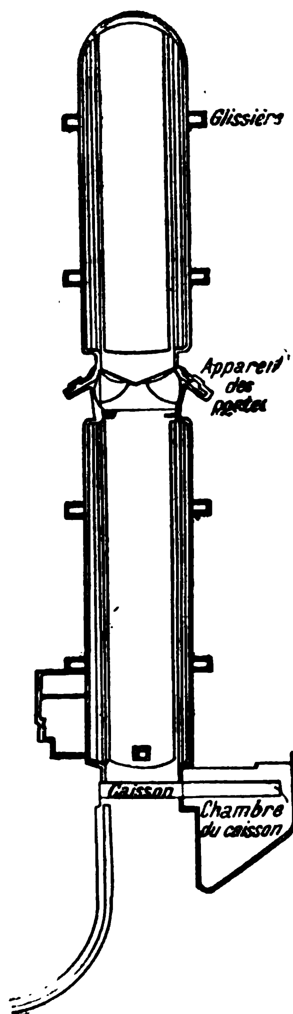


Fig. 344. — Bremerhaven.

Les murs étaient reliés ensemble par des chaînes noyées dans le radier; leurs maillons avaient 32 *mm* de diamètre et elles pesaient 21 kilogrammes par mètre de longueur.

Bremerhaven. — Le sol est composé d'argile imperméable, la fouille des bassins de radoub est simplement revêtue de parois en bois, et les tins sont supportés sur pilotis.

La figure 344 représente le nouveau bassin de radoub qui y a été construit.

Greenock. — Le bassin de radoub de Greenock a 193 mètres de longueur. Sa largeur au fond est de 21,40 *m*, dont la partie centrale sur 12,50 *m* est planchéiée. Les murs, hauts de 8,60 *m*, ne présentent que trois gradins, de 1,20 *m* chacun à la partie supérieure, les 5 mètres restant sont verticaux. C'est une conception économique à tous les points de vue, mais il peut y avoir à craindre une insuffisance de lumière.

Les tins sont mobiles et peuvent être placés en lignes obliques à l'axe, disposition qui permet de placer deux ou plusieurs navires en échiquier, empiétant l'un sur l'autre; on est arrivé ainsi à enfermer dans ce dock de 193 mètres des bâtiments dont la longueur totale des quilles atteignait 225 mètres.

Le parquet en charpente se compose de trois assises de pièces de pin rouge d'Amérique, espacées de 1,20 *m* et boulonnées ensemble, les intervalles étant remplis de béton. L'épaisseur des deux couches inférieures est de 30 *cm*, la supérieure de 45 *cm*; sur le tout est fixé un plancher en madriers d'orme.

Des drains carrés sont placés sous la couche inférieure ; ils sont en madriers noyés dans du béton poreux. Les côtés sont percés par mètre de longueur de 50 trous de 10 *mm*.

Le reste du radier est en briques.

Les pompes débitent 3 mètres cubes à la seconde et vident le bassin en deux heures et demie.

Barry. — Il y a au port de Barry deux bassins de radoub dont nous ne décrirons que le plus récent, le Commercial dock, qui a une forme tout à fait spéciale. Sa longueur de 228 mètres est partagée en deux parties : celle près de l'entrée a 117 mètres, l'autre 111 mètres ; mais il faut déduire de ces dimensions celles du caisson qui les sépare. Cependant les navires de plus de 117 mètres sont placés au bassin empiétant sur la seconde portion où l'on peut mettre encore un petit bâtiment.

La largeur de la forme est de 30 mètres au radier et 34,70 *m* au couronnement. La hauteur d'eau sur le seuil est de 7,30 *m*.

La largeur de l'entrée est de 18,35 *m* et les deux portions sont séparées par la chambre du caisson intermédiaire qui a même largeur et dont le seuil est à 15 *cm* plus bas. Les chambres d'entrée et du caisson intermédiaire ne sont pas sur l'axe, mais sur un côté de la forme.

On peut recevoir à la fois quatre navires.

Ce bassin assez singulier offre encore quelques particularités. La section droite en est presque rectangulaire ; il n'y a que trois petits gradins supérieurs. Les murs sont très peu épais ; le radier n'a que 60 *cm* ; des drains sont chargés de recueillir toute l'eau qui pourrait venir presser contre les parois et de la vider dans l'aqueduc d'assèchement.

Quatre rangées de tins reçoivent les navires qui, une fois posés, sont légèrement inclinés par le moyen de moufles fixées sur des bollards latéraux. Les bâtiments ainsi penchés vers l'extérieur ne sont accorés que d'un côté contre les gradins supérieurs.

Le bassin peut être asséché en partie à la marée basse. Au moyen de

trois pompes centrifuges de 1,65 *m* de diamètre et débitant ensemble 4 mètres cubes par seconde, chacune des parties de la forme se vide en une heure et demie.

On n'a pas prévu de puits pour le gouvernail, et il n'y a jamais eu occasion de le regretter.



Fig. 345 — Cale de Penzance.

Un type de bassin de radoub économique est celui construit au port de pêche de Penzance, Cornwall ; il mesure 60 mètres de long sur 10 mètres à la base et 15 au couronnement. Toute la partie inférieure a été creusée dans le rocher très sain qui forme le fond du port, et n'a reçu aucun enduit (fig. 345).

La hauteur d'eau sur le seuil est de 3,60 *m*.

CHAPITRE XXXII

PONTS MOBILES

Les deux rives d'une écluse, d'un avant-port, les bajoyers des formes du radoub munies de portes busquées, sont reliés ensemble par des ponts qui s'effacent au passage des navires. Les bateaux-portes servent eux-mêmes de passerelles.

On a jadis employé des ponts-levis, ponts-ascenseurs, ponts de bateaux ; ils sont à peu près abandonnés et nous n'en parlerons pas. Aujourd'hui, les ponts mobiles sont tournants ou roulants. Pour quelques cas particuliers il existe encore d'autres solutions, dont il est question ci-après.

PONTS TOURNANTS.

Ils tournent autour d'un axe vertical, pour se ranger parallèlement aux bajoyers sur le quai.

Petits ponts. — Pour de petites dimensions, les ponts peuvent être construits en charpente ; mais aujourd'hui, on y a absolument renoncé et même l'acier est substitué au fer dans les ouvrages récents. Les poutres sont à treillis afin de diminuer l'effet du vent. A Hull, sur un pont construit en tôle pleine dont la hauteur varie de 3,35 *m* au centre jusqu'à 1,50 *m* à l'extrémité de la volée, la force du vent suffit parfois pour déterminer l'ouverture. Les poutres en treillis sont également plus légères à égalité de résistance, car on en proportionne mieux les diverses parties aux efforts qu'elles ont à supporter.

Le plus souvent il n'existe que deux poutres maîtresses latérales, qui portent tout le poids du pont en charge. En Angleterre cependant quelques ponts ont trois poutres principales, la plus forte étant axiale ; elle est calculée pour supporter la moitié du poids, tandis que chacune

des deux autres ne résiste qu'au quart de la charge. Il en résulte une disproportion dans les dimensions, qui n'est pas à recommander.

Le pivot est établi à une certaine distance du bord du bajoyer. Cette distance est commandée par les besoins de la navigation ; on estime que, le pont ouvert, il faut laisser le long de la rive un espace de 1,60 *m* pour le passage des hommes qui exécutent les manœuvres des bâtiments.

Sur le bajoyer de la rive opposée, la volée s'appuie sur un mètre environ.

La largeur du tablier dépend de l'usage auquel est affecté le pont. En général, on la prévoit suffisante pour le croisement de deux voitures ; la dimension convenable paraît alors être de 7 mètres, dont 4,50 *m* pour la chaussée et 2,50 *m* pour les trottoirs. Malgré l'inconvénient de la division de la chaussée en deux zones, l'une pour l'aller, l'autre pour le retour, inconvénient grave surtout pour les voitures à deux chevaux, cette division est souvent adoptée ; elle proportionne mieux les résistances aux efforts et permet de diminuer le poids du pont ; elle évite aussi les abordages, les encombrements, etc.

Whitehaven. — La figure 346 donne un modèle de pont tournant destiné à franchir un court espace, 11,50 *m*. L'espace étant très mesuré,

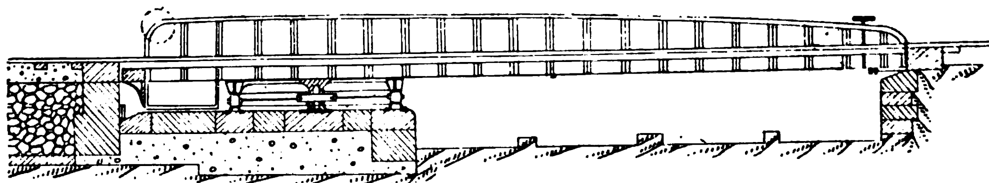
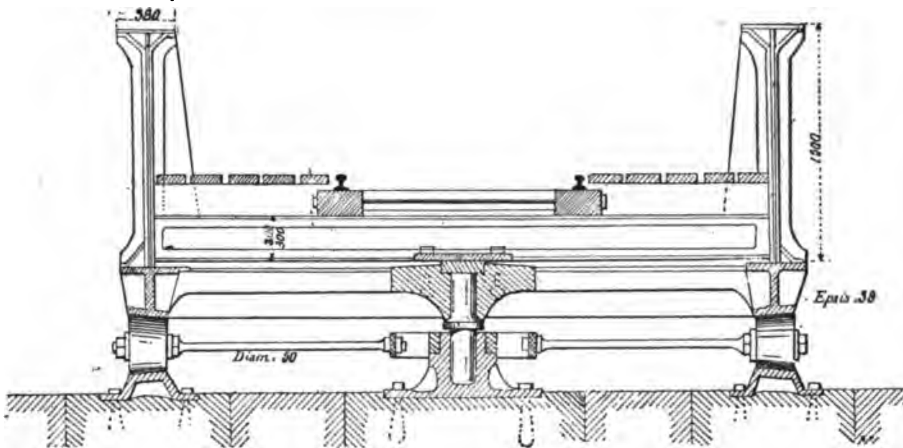


Fig. 346. — Pont tournant de Whitehaven. — Elévation.

la longueur de la culasse n'est que le tiers de celle de la volée et il a fallu ajouter un contrepoids en fonte dans une caisse. Les poutres maîtresses ont 19 mètres de longueur et sont distantes de 4 mètres d'axe en axe ; la tôle employée a 6 *mm* d'épaisseur.

Le pont tourne par l'intermédiaire de deux couronnes dressées sur douze galets libres, réunis à l'axe par des tirants servant d'essieux. Le pivot central en acier a 15 *cm* de diamètre, il supporte un disque également d'acier de 18 *cm* de côté et 8 *mm* d'épaisseur, réuni aux poutres par des boulons.

Le poids total du pont, compris un contrepoids de 30 tonnes, est de 70 tonnes. La manœuvre s'opère en une minute et demie.



Coupe.

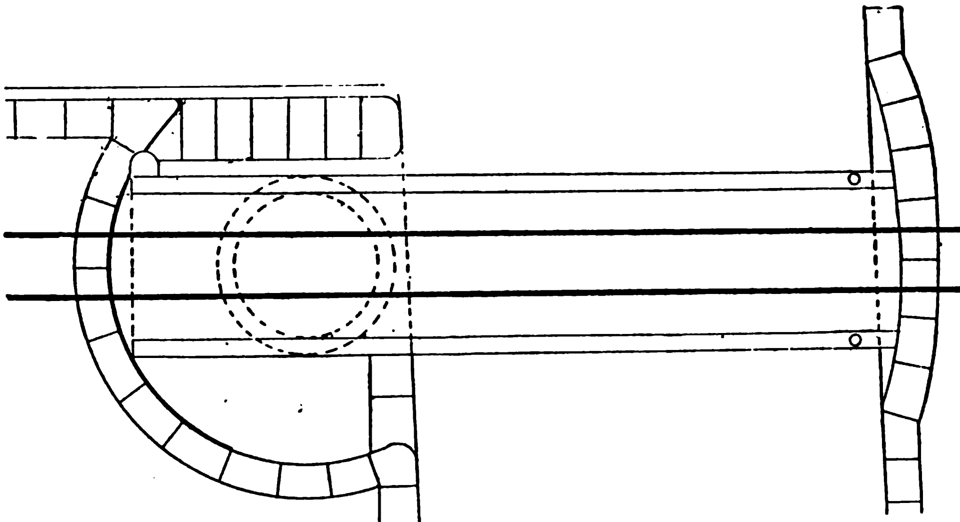


Fig. 346. — Pont tournant de Whitehaven. — Plan.

GRANDS PONTS.

Pour la traversée de très larges espaces, on partage parfois le pont en deux volées : tel le pont jeté sur la Penfeld, qui relie les deux parties de la ville de Brest. La volée unique est plus avanta-

geuse. Les mécanismes sont réunis d'un seul côté, aux mains d'un seul homme. L'extrémité de la volée, quand le pont est fermé, s'appuie sur le bajoyer de l'autre rive, ce qui assure la solidité. Enfin, le tablier est horizontal, condition importante dans le cas où le pont donne passage à un chemin de fer.

On réalise les mêmes avantages, sauf le premier, avec un pont à deux volées si la passe à franchir permet l'établissement d'une pile centrale qui porte le pivot. Ce dispositif a même été adapté à des passes de faible largeur. Ainsi à Gravelines, l'écluse Vauban qui a 23,75 *m* est partagée en deux pertuis de 8 à 10 mètres, séparés par une pile centrale de 5,75 *m* de largeur.

Dans un pont à double volée, à pile centrale, les deux parties se font complètement équilibre, si les pertuis sont d'égale largeur ; au cas contraire, la plus courte reçoit un excès de poids.

Les ponts à volée unique ont également besoin, pour rester en équilibre, d'un contrepoids. On le leur donne sous la forme d'un prolongement lesté, que l'on appelle la *culasse*, et qui tourne à terre. La longueur de la culasse est d'ordinaire la moitié de celle de la volée.

Le lest est formé parfois de maçonnerie (Brest) mais le plus souvent de fonte. Au lieu de gueuses ordinaires, on emploie aussi le métal en morceaux remplissant les espaces laissés libres entre les diverses pièces qui composent la carcasse. Le lest est calculé pour donner à la culasse un excès de poids sur la volée ; cet excès assure la stabilité pendant la rotation, car sur la partie la plus longue il s'exerce des efforts accessoires plus considérables (pression du vent, neige, glace, etc.). On a même proposé, pour atténuer cette différence, de construire la volée en treillis et la culasse en tôle pleine.

Ponts tournant uniquement sur une couronne de galets. *Brest.* — C'était ainsi qu'autrefois étaient établis les ponts mobiles ; le plus important des ouvrages de ce système est celui de Brest, qui a une longueur totale de 174 mètres, divisée en deux volées reposant sur des piles circulaires dont le diamètre au sommet est de 10,60 *m* et espacées de 117,60 *m* d'axe en axe. Le passage libre en dessous a une hauteur de 19,50 *m* ; sa largeur est de 106 mètres.

Les volées sont formées de deux poutres métalliques en fers à T reliées par des entretoises et contreventées. Ces poutres ont 7,72 *m* aux piles et 1,40 *m* à l'extrémité. Afin de s'opposer à la flexion transver-

sale, on a tiré parti du plancher pour la portion supérieure; il a été formé de madriers superposés sur deux couches et à joints croisés. A la partie inférieure, les poutres sont entretoisées et contreventées par des croix de Saint-André.

La culasse a 28,50 *m* de longueur; c'est une sorte de caisse qui renferme le contrepoids nécessaire. La partie située sur les piles et où aboutissent toutes les réactions a été combinée pour en assurer la résistance et répartir également la charge sur les galets qui composent la couronne de rotation. A cet effet, deux des montants des poutres coïncident avec le milieu des couronnes et forment quatre points d'appui principaux, renforcées par des colonnes reliées au moyen de croix de Saint-André et traversées par une tour cylindrique en tôle, fortement armée et munie de plateformes en haut et en bas.

Les couronnes de roulement sont semblables aux plaques tournantes des chemins de fer ; elles comprennent 50 galets dont le diamètre moyen est de 50 *cm.* et la largeur de 60 *cm.*

Le mécanisme de rotation est le suivant: La circonférence extérieure de la partie dormante des couronnes de rotation est dentée; sur ces dents s'engrène un pignon dont l'axe est solidaire avec la couronne de rotation mobile. L'axe porte une grande roue dentée commandée par un pignon manœuvré du plancher au moyen d'une roue à bras.

Quand le pont est fermé, les deux volées se rejoignent par des verrous; en même temps, à l'arrière, on serre des sortes d'étaux qui appuient la charpente de la culasse contre une pièce de fonte scellée dans la culée. En outre, les poutres sont supportées par des vis auxquelles elles servent d'écrou et dont la pointe s'appuie contre une plaque métallique encastrée dans la pile.

Deux hommes par volée suffisent à opérer la manœuvre complète en 15 minutes. En cas de réparations, les volées sont soulevées par quatre presses hydrauliques.

L'ouvrage comprend 860 tonnes de fer, 340 tonnes de fonte et 150 mètres cubes de bois.

Les ponts de ce système ont l'avantage de présenter une large base d'appui, et par conséquent une grande stabilité. Mais ils ont des inconvénients sérieux qui les ont fait abandonner. Ces inconvénients proviennent de la difficulté de répartir la charge sur l'ensemble des galets. La moindre dénivellation amène, en tout cas, une inégalité de charge

qui use vite les roues, déjà sujettes à une prompte détérioration étant toujours en travail. Ces inconvénients grandissent avec les dimensions du pont.

Aujourd'hui tous les ponts mobiles sont construits à pivot.

PONTS A PIVOT.

Dans ce système, l'ensemble est soutenu par une poutre de forme spéciale, dite *chevêtre*, qui repose sur la tête d'un pivot autour duquel s'effectue la rotation. On concentre ainsi le poids sur une pièce unique, facile à calculer, dont l'entretien et le graissage sont aisés et dont la manœuvre exige peu de force. La stabilité, en cas d'insuffisance, est complétée par des organes accessoires.

Le pivot peut être fixe ou mobile.

Pivot fixe. — Le pivot fixe le plus simple se compose d'un grain d'acier à section sphérique convexe, tournant dans une crapaudine à forme concave. L'inconvénient de ce système réside dans la difficulté du graissage entre deux parties si fortement pressées. Aussi est-on obligé de donner au pivot une surface assez grande afin de diminuer la pression superficielle.

Elle peut être augmentée, au contraire, quand le graissage est possible et l'on y parvient par des dispositions spéciales, ainsi qu'il sera dit ci-après pour le pont de Bordeaux.

Pivot seul. — Il existe en Hollande des ponts qui tournent autour d'un pivot sans autre appui. Ainsi à Velsen, sur le canal d'Amsterdam, où le pivot en fer a 2,50 *m* de longueur, 250 *mm* de diamètre au sommet et 400 *mm* à la base. Le pont se compose de deux bras égaux de 27 mètres de longueur.

Un pareil système nécessite des fondations bien sûres, car le moindre tassement entraîne le déversement et par conséquent l'impossibilité de la manœuvre. On a eu soin d'ailleurs dans le pont de Velsen d'établir les poutres en contre-bas, afin que le centre de gravité se trouve au-dessous du support ; la rotation est très facile.

Pivot et galets. — Mais, en général, le poids du pont, pendant la rotation, est supporté en partie par le pivot, en partie par des galets.

Quelquefois ces galets forment une couronne concentrique au pivot

(Hull); la charge se répartit alors entre les deux genres de supports. Dans le pont cité, la majeure partie de la pression s'exerce sur les galets; de plus, la culasse a reçu un excès de poids, supporté par deux roues placées à son extrémité à 8 mètres du pivot, et situées symétriquement par rapport à l'axe. Les deux bords du tablier sont ainsi bien soutenus.

Le plus souvent, il n'y a que quatre galets, deux sur le diamètre normal à l'axe passant par le pivot, et deux sous les bords de l'extrémité de la culasse. Il est ainsi beaucoup plus facile d'assurer le contact avec les rails circulaires en fonte sur lesquels circulent ces roulettes qui ne portent qu'un poids restreint. Leur diamètre est d'ailleurs assez grand pour faciliter leurs mouvements (46 *cm* à Dunkerque).

Ce système est également le plus employé en Allemagne. Parfois, au lieu de quatre galets, il n'en existe qu'un sous l'extrémité de la culasse, dans l'axe; on est certain alors qu'il porte bien sur les rails, mais en principe, le dispositif n'est pas aussi avantageux, les bords du tablier de la culasse se trouvant en porte-à-faux.

Calage. — Quand le pont est fermé, c'est-à-dire en travail, il ne repose plus ni sur le pivot ni sur les roulettes, mais sur des cales formées par des coins ou mieux par des tasseaux ou madriers; ceux-ci ont l'avantage de présenter partout la même épaisseur, tandis que les coins peuvent forcer plus ou moins. Les cales sont mues à la main, si elles ne sont pas trop volumineuses.

C'est là d'ailleurs un cas très rare et le plus souvent il faut employer des appareils, au reste fort simples. Mais, tant pour caler que pour décaler, il est nécessaire de soulever préalablement la partie qui s'appuie sur les tasseaux. Cette opération est différente, suivant qu'il s'agit d'un pont tournant sur galets ou sur pivot.

Dans le premier cas, la volée et la culasse sont indépendantes, ayant un de leurs points d'appui sur la base invariable de la couronne; il y a donc nécessité de placer une cale sous les extrémités de chacune des poutres maîtresses et par conséquent de combiner quatre mouvements. Pour les ponts à pivot, le décalage de la culasse fait basculer la volée et l'amène à sa place.

Réciproquement, le décalage doit se faire simultanément sur les quatre appuis dans les ponts du premier genre, tandis que le décalage de la culasse seule amène, à cause de la différence du poids, le basculement de la volée dans ceux du second système.

Le calage et le décalage s'obtiennent souvent par des excentriques portant de petites roues de friction (Gravelines), des leviers (Rotterdam), ou des vérins. Aux grands ponts, des presses hydrauliques sont nécessaires.

Manœuvre. — Les petits ponts sont simplement tournés à bras, les hommes agissant à l'extrémité de la culasse. Aux ouvrages plus importants, le mouvement est donné par un pignon commandant une grande roue dentée horizontale fixée au pivot. Pour les très grands ponts, les manœuvres s'exécutent par l'eau sous pression.

Comme exemple de pont tournant sur pivot on peut citer celui de Bordeaux, à volée double.

Bordeaux. — Le bassin à flot de Bordeaux est mis en communication avec la rivière par deux écluses, large l'une de 22 mètres, l'autre de 14 mètres; à chacune de leurs extrémités est établi un pont tournant à double volée, dont le pivot est encastré dans le bajoyer central qui sépare les deux écluses et dont la largeur est de 10 mètres.

Le pont a une longueur totale de 48 mètres, dont 28 pour la grande écluse et 20 pour la petite. Chacune des extrémités porte sur une surface d'un mètre contre les bajoyers de la rive opposée.

La partie métallique comprend :

1° Deux grandes poutres en tôle d'acier formant double T, s'étendant d'une extrémité à l'autre (48 mètres). Elles sont formées de feuilles de tôle verticales de 9 *mm* d'épaisseur et dont la hauteur varie, de l'extrémité au centre du pont, depuis 2,36 *m* jusqu'à 2,80 *m*. Ces feuilles sont réunies par des fers à T, remplacés de deux en deux par des couvre-joints sur lesquels viennent s'appliquer normalement, de chaque côté des poutres, des consoles en tôle de 2,33 *m* à 2,78 *m* de hauteur, assujetties au moyen de cornières et de rivets.

La rigidité des poutres est augmentée par des feuilles de tôle d'acier superposées, dont trois sont fixées horizontalement à la partie supérieure et trois à la partie inférieure.

2° Vingt-huit pièces de pont, espacées de 1,878 *m* d'axe en axe dans la petite volée et de 1,915 *m* dans la grande, en forme de double T. La hauteur des pièces centrales est de 1,10 *m*, celle des autres de 511 *mm*.

3° Un longeron placé au milieu de la largeur du pont et reliant les

pièces de pont des deux volées. Les pièces centrales sont reliées par trois longerons.

4° Des pièces de contreventement assujetties au longeron, aux pièces de pont et aux poutres longitudinales.

Le pivot a la forme d'un T à branche verticale très courte ; il est solidement fixé aux poutres du pont, au moyen d'un support en fonte auquel il est assujetti par deux forts boulons de 15 *mm* de diamètre. Ce support est évidé au centre par un trou circulaire, garni d'un coussinet en bronze, et dans lequel s'engage le pivot, qui est muni d'un grain en acier de 250 *mm* de diamètre, comme la partie supérieure de la crapaudine qui doit le supporter. La crapaudine présente une surface concave ; elle est fixée à l'extrémité d'un axe vertical en fer qui pénètre dans le coussinet en bronze, et dont la partie inférieure, de 300 *mm* de diamètre, est engagée dans le piston de la presse hydraulique destinée à soulever le pont, quand on veut le décaler. Le pivot et la crapaudine ne se touchent donc pas quand le pont est en travail ; il y a entre eux un jeu de 20 *mm* environ, qui facilite le graissage.

Un tambour en tôle, de 5 mètres de diamètre sur 2,275 *m* de hauteur, est fixé aux tables inférieures du pont, de manière que son axe coïncide avec celui de la presse et du pivot. Deux couronnes de galets le maintiennent vertical et empêchent les oscillations du pont. Ces galets, pressés par le tambour, tournent et le guident dans ses révolutions. Le pont fermé repose au centre sur deux plaques de fonte et aux extrémités, au moyen de vérins, sur les maçonneries.

Le tambour sert également à la manœuvre du pont ; les chaînes qui proviennent des cylindres hydrauliques s'y enroulent ; ces cylindres, au nombre de deux, sont établis parallèlement sur le bajoyer central et manœuvrent en sens inverse.

En cas d'accident, la manœuvre se fait par un mécanisme de secours, composé d'une roue dentée fixée au pourtour de la cuve en maçonnerie qui contient le tambour et d'un pignon qui peut être mû à bras au moyen d'un système d'engrenages.

Pivot hydraulique. — Le pivot fixe est préférable à tout autre système pour les ponts de dimensions limitées, car il est le plus simple comme construction et comme manœuvre ; mais pour les grands ponts, le poids détermine sur le pivot un frottement tel que la rotation exige le développement de forces trop exagérées ; cette résistance est réduite

par l'emploi d'un pivot mobile dont le principe consiste simplement à faire tourner le pont sur le piston d'une presse hydraulique ; le seul frottement est alors celui du piston contre sa garniture étanche.

Le chevêtre ne doit pas être fixé sur le piston, parce que si les forces appliquées sur le tablier ne sont pas symétriques, elles déterminent sur le piston des efforts latéraux nuisibles au bon fonctionnement.

Quand le pont est en service, le piston est abaissé et l'ensemble repose en général sur trois appuis, placés l'un sous la culasse, le second sous la volée et le dernier en un point central près du pivot, ordinairement sur l'arête du bajoyer. Trois systèmes sont usités :

1° Les deux appuis extrêmes sont fixes. Le dégagement avant la rotation s'opère par un soulèvement droit du pivot, qui porte seul tout le poids.

2° Les deux appuis sont mobiles. La charge est répartie entre le pivot et une couronne de galets. Le dégagement s'obtient en soulevant les extrémités de la volée et de la culasse par des vérins hydrauliques et enlevant les cales. Le pont est à niveau fixe.

3° L'appui de culasse est mobile, celui de volée fixe. On soulève seulement l'extrémité de la culasse des vérins hydrauliques et l'on retire les cales. Le pont bascule naturellement de ce côté.

Le premier système est simple et convient aux petits ponts ; il a l'avantage de n'exiger que des surfaces dressées planes ; mais la stabilité est restreinte ; de plus, avec les grands ponts, il faudrait toujours craindre que le pivot ne s'affaisse, par suite de rupture ou de fuite, et le choc serait très grave.

Le second a contre lui la difficulté du réglage des galets. Aussi préfère-t-on généralement maintenant le troisième système et voici comment il a été appliqué en France aux derniers grands ponts construits, pour se mettre à l'abri de tout choc provenant d'une avarie de la presse hydraulique ou de la conduite alimentaire.

Le piston plongeur ne se soulève pas pendant la rotation ; on lui donne un diamètre suffisant pour résister à la pression de l'eau comprimée à 50 kilogrammes par centimètre carré. Il reste au fond du cylindre, mais équilibré par la sous-pression, de façon que la rotation n'éprouve aucun obstacle.

Le soulèvement du pont ne peut donc plus être opéré par le pivot ; on a eu recours, pour y arriver, à deux procédés :

Pont du Pollet et *pont d'Arenc*. — Le dispositif adopté au pont du Pollet à Dieppe et au pont d'Arenc à Marseille est le suivant :

Le piston porte une crapaudine concave dans laquelle peut tourner, lors du basculement, une rotule convexe fixée au-dessous du chevêtre. La crapaudine et la rotule sont demi-cylindriques et non sphériques, parce que cette forme est beaucoup plus aisée à dresser à la machine.

En service, il existe un jeu de quelques millimètres entre ces deux organes. Chaque poutre maîtresse porte au bout de la volée, sur une plaque de fonte fixée au bajoyer de la rive opposée, et à une certaine distance du pivot (5,34 *m* au Pollet), sur une autre plaque métallique fixée au bord du bajoyer de la rive de terre. L'extrémité de la culasse repose sur un appui mobile, formé d'un coin pouvant glisser entre deux plaques de fonte, l'une boulonnée au-dessous du tablier, l'autre scellée dans la maçonnerie de l'encuvement du pont.

La culasse porte deux roulettes soulevées de 16 *cm* au-dessus de leurs rails circulaires. A côté, au droit des poutres maîtresses, sont placés deux vérins hydrauliques (presses de basculement).

Le soulèvement du piston n'est obtenu que par le jeu simultané de la presse du pivot et de celles de basculement.

La rotation est produite par deux appareils funiculaires hydrauliques placés parallèlement au-dessous du tablier et dont la chaîne s'enroule sur une couronne en fonte boulonnée au-dessus du tablier.

Le pont étant en service exige pour s'ouvrir les manœuvres suivantes, obtenues en ouvrant des robinets correspondants, qui mettent les appareils en communication avec l'eau sous pression :

1° On soulève le piston, qui ne peut monter que de la hauteur du jeu existant entre la rotule et la crapaudine, puisqu'il ne peut surmonter le poids du pont ;

2° On donne la pression dans les presses de basculement. Leur effort réuni à celui du pivot soulève le tablier.

3° Les appuis de culasse étant alors dégagés sont retirés par l'appareil hydraulique qui les commande.

4° L'eau des presses de basculement est enfin évacuée ; l'excès de poids de la culasse la fait abaisser et les galets viennent reposer sur leur voie. Le piston-pivot descend lentement jusqu'au fond et reste équilibré par la sous-pression.

Le pont peut alors tourner sous l'action des appareils de rotation.

Pour refermer le pont, on exécute les opérations inverses.

Pont du Pollet. — Ce pont traverse un chenal de 40 mètres de largeur. La longueur de la volée (47 *m*), comprend :

Largeur de l'appui de l'extrémité sur le bajoyer de la rive opposée.	1,13 *m*
Largeur du chenal	40,00
Chemin de halage le long du quai	1,60
Demi-largeur du tablier	4,27
	47,00

La longueur de la culasse est la moitié de celle de la volée, soit 23,50 *m*. Le tablier est donc long en totalité de 70,50 *m*. La largeur libre entre garde-corps est de 7 mètres ; la chaussée est partagée en deux voies.

Les deux poutres maîtresses, en forme de caisson, ont une hauteur de 7,113 *m* au droit du pivot, 2,753 *m* à l'extrémité de la volée et 5,973 *m* au bout de la culasse. La largeur des tables est de 80 *cm* ; leur épaisseur va de 70 *mm* (au droit du pivot), à 15 *mm* (aux extrémités). Les montants verticaux sont espacés de 4,85 *m* d'axe en axe ; ils alternent avec des croix de Saint-André.

Le chevêtre, long de 8,45 *m*, est large de 2,30 *m* comme les doubles montants verticaux placés au droit du pivot.

Le poids total est de 50 tonnes.

Le pivot porte en outre le lest (234 tonnes), le chevêtre (40 tonnes) et le mécanisme fixé au tablier (36 tonnes), en tout 810 tonnes.

Les 234 tonnes de lest sont calculées pour donner à la culasse un excédent de poids de 20 tonnes.

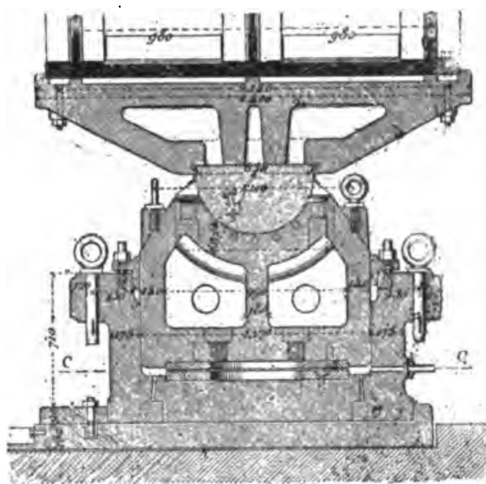
Détails de construction. — Le piston plongeur a 1,270 *m* de diamètre ; la crapaudine demi-cylindrique a une longueur de 90 *cm* et un diamètre de 65 *cm*.

Le dessous du piston ne touche pas le fond du pot de presse ; chacune de ces surfaces porte encastré un anneau en acier à rainures pour le graissage, et ce sont les surfaces de ces anneaux qui sont en contact. L'anneau a 1 mètre de diamètre extérieur et 50 *cm* de diamètre intérieur.

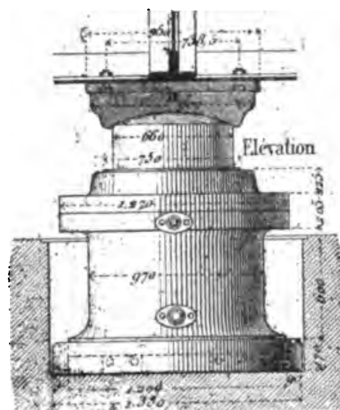
Le pot de presse en fonte a une épaisseur de 175 *mm* (fig. 346 *bis*).

La surface de la base du piston plongeur est de 12 667 centimètres carrés. La sous-pression de l'eau comprimée à 50 kilogrammes produit

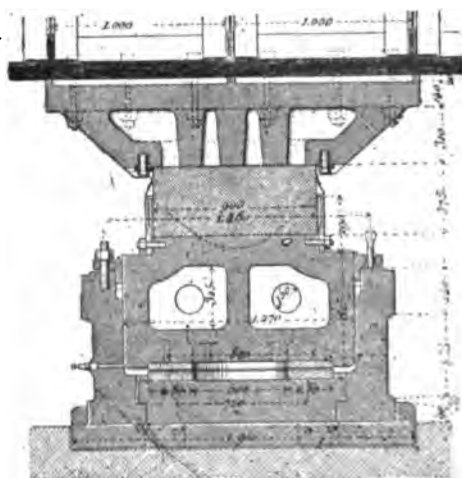
donc 12 667 × 50 = 633 tonnes et est insuffisante pour lever le pont, qui pèse 810 tonnes.



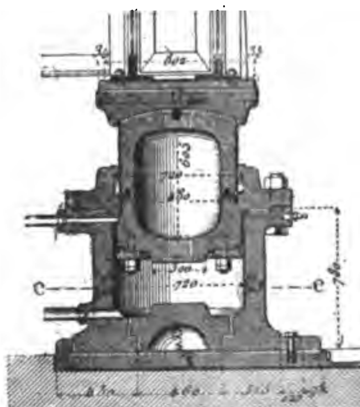
Pivot.



Presse de basculement. — Elévation.



Pivot.



Presse de basculement. — Coupe.

Fig. 346 *bis*. — Détails du pont du Pollet.

Quant à la charge pendant la rotation, elle est aisée à trouver. La surface de la base du piston en dehors de l'anneau d'acier fixé sous le piston est de 6 777 centimètres carrés ; celle des rainures de graissage de 1 213 centimètres carrés ; ensemble 7 990 centimètres carrés qui supportent une sous-pression de 400 tonnes. Les 20 tonnes, excédent

de poids de la culasse, sont supportées par les galets. Du poids de 810 tonnes, il ne reste donc à presser sur l'anneau d'acier que la différence, c'est-à-dire 400 tonnes, qui, répartie sur (12 667 — 7 990 cm^2) = 4 677 centimètres carrés, donne une pression de 85 kilogrammes par centimètre carré.

La course nécessaire au piston est de 15 *mm*.

Les presses de basculement sont en fonte recouverte d'une chemise en bronze de 1 *cm* d'épaisseur. Le plongeur a comme diamètre, sur 22 *cm* de hauteur, 740 *mm*, et au-dessus 660 *mm*; la retraite entre ces deux parties a donc 4 *cm* de largeur (fig. 346 *bis*). Un orifice met en communication avec l'eau sous pression la partie inférieure, un autre la partie au-dessus de la retraite. En ouvrant les deux robinets, on lève la presse ; en faisant évacuer l'eau par le robinet inférieur, elle s'abaisse. La course totale est de 157 *mm*.

La couronne de rotation en fonte, boulonnée aux extrémités du chevêtre et au-dessous du tablier, a 9,35 *m* de diamètre. Les cylindres hydrauliques ont 475 *mm* de diamètre et 85 *mm* d'épaisseur ; les plongeurs ont sur 15 *cm* de longueur seulement un diamètre égal à celui du cylindre ; sur le reste de leur longueur, le diamètre est réduit à 320 *mm*. On peut ainsi mettre les cylindres à simple ou à double pouvoir; celui-ci est employé lors des grands vents.

Les galets de culasse sont doubles. Chacun d'eux se compose de deux roues pleines identiques de 650 *mm* de diamètre dont les axes sont reliés par deux longerons jumelés en fer, mobiles autour d'un axe qui les traverse en leur milieu et qui est fixé au-dessous des poutres maîtresses. C'est donc le système du balancier qui leur est appliqué.

La dépense d'eau, tant pour l'ouverture que pour la fermeture, est de 521 litres, qui se décomposent ainsi :

Presse centrale.	21 litres
Presses de basculement	203 »
Presses de rotation . . .	295 »
Presse de décalage . . .	5 »

La manœuvre s'opère en 2 ou 3 minutes ; en cas d'urgence en une minute et demie.

Pont Bellot, le Havre. — Le pont Bellot est très analogue au pont du Pollet, mais le soulèvement de la presse est obtenu par le moyen d'un

coin, procédé inférieur à celui qui vient d'être décrit, et dont il est pourtant bon de donner une idée (fig. 347).

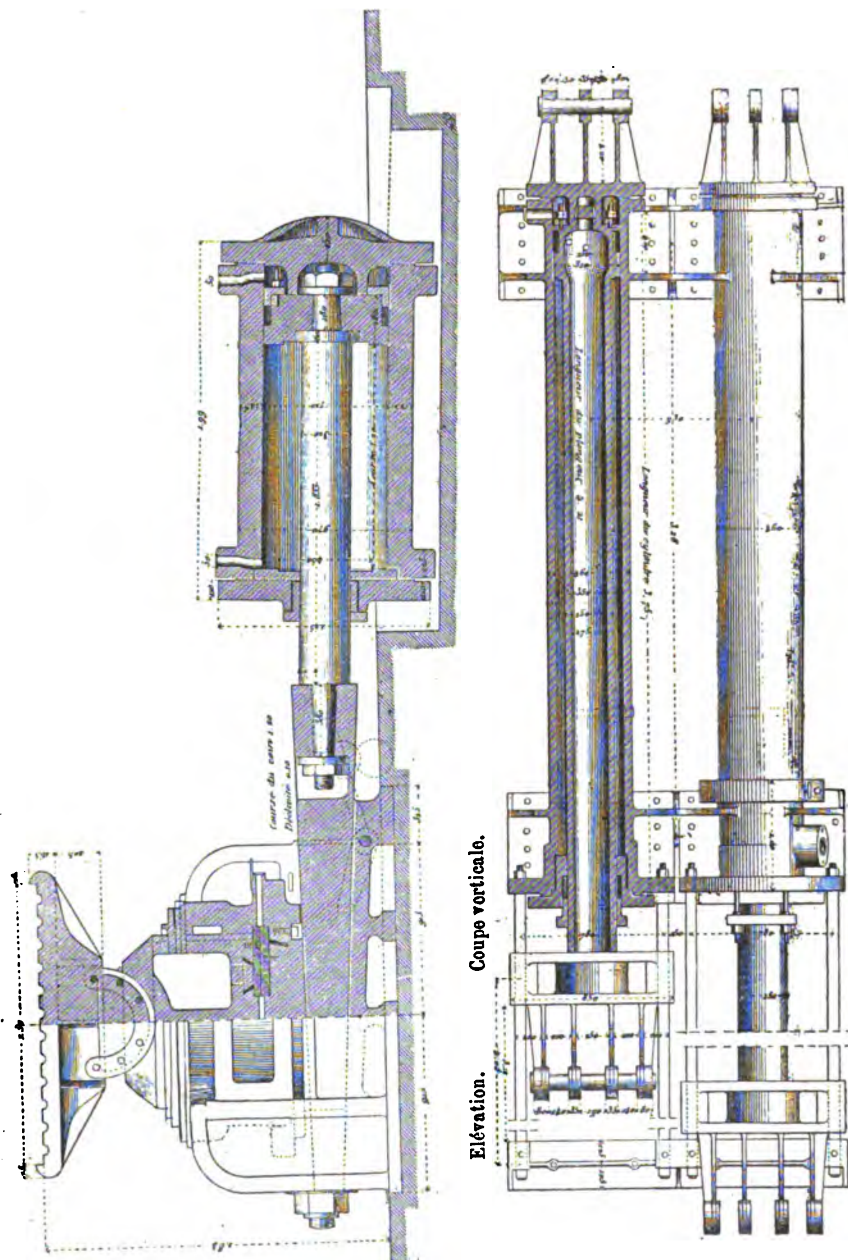


Fig. 347. — Pont Bollot. — Appareil de rotation.

Le cylindre crapaudine qui supporte le sommier repose par sa base

sur un coin métallique, qui est avancé ou retiré par une presse hydraulique horizontale. Ce coin soulève assez le cylindre-crapaudine pour que le pont puisse basculer autour de la partie arrondie qui termine inférieurement le sommier.

Le coin remédie, comme la solution adoptée au Pollet, aux inconvénients du pivot hydraulique, mais il est plus coûteux, ce qui l'a fait abandonner.

*Pont d'Arenc. — **Marseille*** (1). — C'est le plus grand des ponts tournants existant. Il est jeté sur un passage de 50 mètres et est destiné à une double voie

1) Renseignements empruntés à un excellent mémoire de M. l'ingénieur Coen Cagli, de Naples.

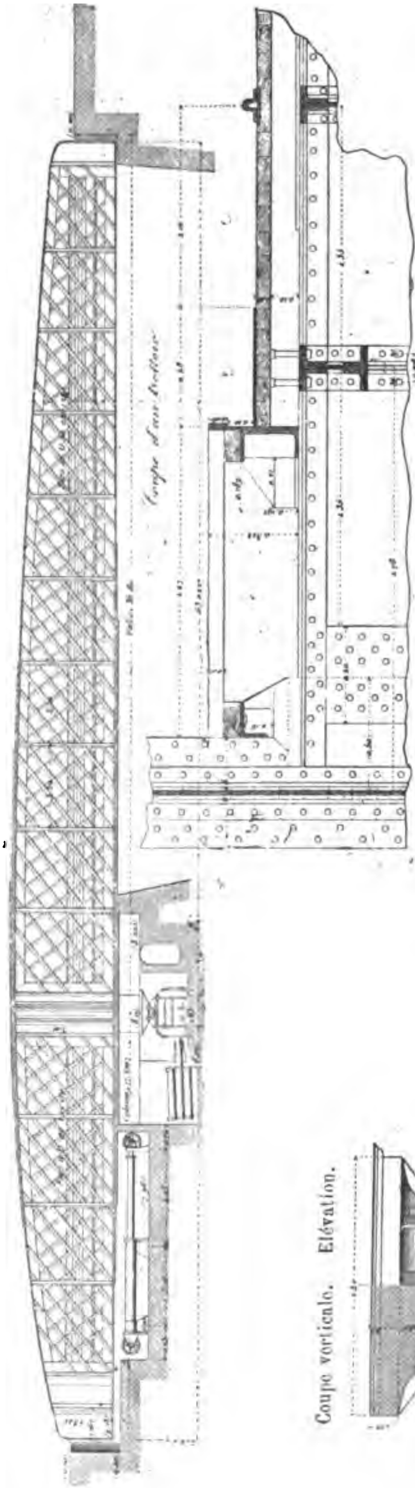


Fig. 347. — Pont Bellot. Élévation.

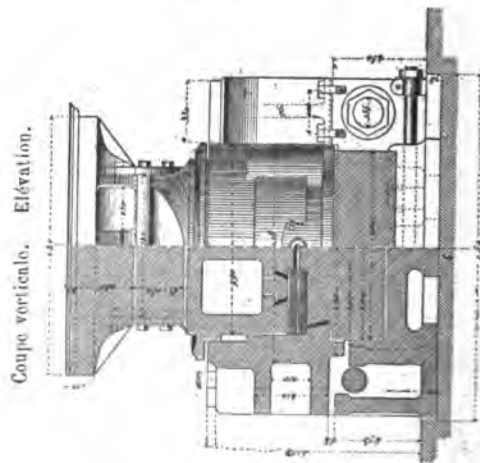


Fig. 347. — Pivot.

ferrée. Le système général est le même qu'au pont du Pollet. La longueur de la volée est de 59,20 *m*, celle de la culasse 36 mètres, en tout 95,20 *m*. La largeur libre est de 8 mètres ; elle comprend deux trottoirs de 85 *cm*, deux voies ferrées, l'entrevoie de 2 mètres et 65 *cm* entre les rails et les trottoirs.

Le lest pèse 280 tonnes et donne à la culasse un excédent de 30 tonnes. Le poids du pont est de 900 tonnes ; avec le chevêtre, le lest et le mécanisme, il arrive à 1 300 tonnes.

La couronne de rotation a 10,80 *m* de diamètre.

La presse centrale a une hauteur de 1,140 *m* et un diamètre intérieur de 1,600 *m*.

La plupart des perfectionnements apportés aux ponts tournants ont été inventés par Barret, l'ancien ingénieur de la Compagnie des Docks de Marseille. Il est intéressant de donner quelques détails sur les premiers ponts construits dans ce port, et pour lesquels il a fallu créer les organes nécessaires.

Pont des bassins de radoub, Marseille. — Etabli sur un chenal de 28 mètres, il a une longueur de 62 mètres, dont 38,40 *m* pour la volée et 23,60 *m* pour la culasse ; la largeur est de 16 mètres, le poids de 700 tonnes. Il comporte trois voies, l'une pour les voitures, l'autre pour un chemin de fer et la troisième pour les piétons.

Le piston plongeur de la presse centrale, haut de 1,23 *m*, est cylindrique sur les 85 *cm* inférieurs ; à sa partie supérieure il est en forme de prisme droit à la base rectangulaire (1,20×0,63 *m*) terminé en un couteau de balance, sur lequel vient reposer le tablier par l'intermédiaire d'une plaque d'acier fixée au chevêtre et autour duquel il peut basculer.

L'eau empruntée à la conduite générale sous la pression de 52 kilogrammes par centimètre carré est insuffisante à soulever le pont ; vu les dimensions du piston, sa pression doit être de 270 kilogrammes, et on la lui donne par le moyen d'un *multiplicateur*.

L'appareil se compose de deux cylindres de fonte, en prolongement l'un de l'autre et où se meuvent des pistons invariablement unis. Le diamètre des pistons est tel que l'eau agissant à 52 kilogrammes sur le plus grand détermine une pression de 270 kilogrammes sur le petit, (ce qui exige $D = 2,3\ d$).

Par des tuyaux munis de soupapes on fait communiquer à volonté :

Le grand cylindre avec la conduite d'eau sous pression ou avec celle d'évacuation.

Le petit d'une part avec la conduite sous pression, d'autre part avec la presse centrale.

Pour lever le pont, on met l'eau sous pression dans le grand cylindre ; elle refoule dans la presse l'eau contenue dans le petit cylindre et qui acquiert la pression de 270 kilogrammes ; pendant cette opération, la soupape qui relie le petit cylindre à la conduite générale se ferme automatiquement.

Pour le baisser, on met la presse en communication avec la conduite de retour.

Cet appareil ingénieux a été abandonné, la pression de 270 kilogrammes étant tout à fait excessive.

Un autre appareil, dit *soupape de sûreté,* est installé pour prévoir le cas où la pression viendrait à diminuer dans la conduite et à empêcher le piston-pivot de tomber brusquement. Il se compose d'une soupape dont la tige de direction supérieure passe à travers un joint étanche, au-dessus duquel son diamètre se réduit et laisse une retraite. L'eau sous pression lève cette soupape pour entrer dans la presse ; mais si le piston tend à retomber, il comprime l'eau sur la retraite supérieure de la tige de la soupape qui se ferme et intercepte le passage de l'eau.

Pont de l'Abattoir, Marseille.— D'une longueur totale de 73,80 *m* il est à deux volées égales, et le pivot est posé sur une pile centrale de 12 mètres de largeur, partageant la passe en deux pertuis de 30 mètres chacun. On a préféré le système à volée double, pour permettre à deux navires de passer en même temps, car la circulation est considérable en ce point et s'élève à plus de 16 000 bateaux par an.

La manœuvre est aidée par un *récupérateur*, décrit plus loin au sujet du pont roulant de Saint-Malo.

Les presses de rotation ont un piston plongeur de 0,28 *cm* de diamètre et 1,90 *m* de course, avec moufles à quatre brins.

Lorsque les volées arrivent à l'extrémité de leur course, elles butent contre quatre tampons d'inertie dus à Barret. Chacun se compose d'un piston de 0,30 *cm* en fonte, garni de bronze, se mouvant dans un cylindre de même diamètre, et muni de deux tiges d'inégal diamètre, celui de l'antérieure ayant 0,16 *cm* et celui de l'autre 0,12 *cm* ;

la première porte un galet sur glissière, qui reçoit le choc du pont.

La circonférence intérieure du cylindre, sur le cinquième de sa longueur *ab*, en arrière, est unie ; sur l'autre partie elle porte des rainures dont la profondeur, partant de zéro, arrive à égaler la surface annulaire du piston. Ces cannelures permettent à l'eau contenue derrière le piston de s'échapper.

L'intérieur du cylindre est en communication constante avec l'accumulateur par le tuyau *t* (fig. 348).

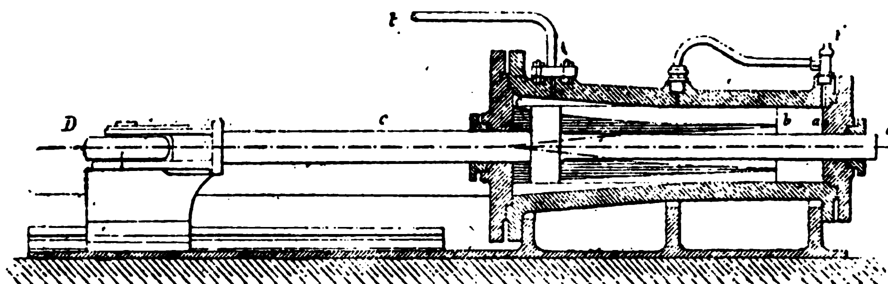


Fig. 348 — Tampon d'inertie.

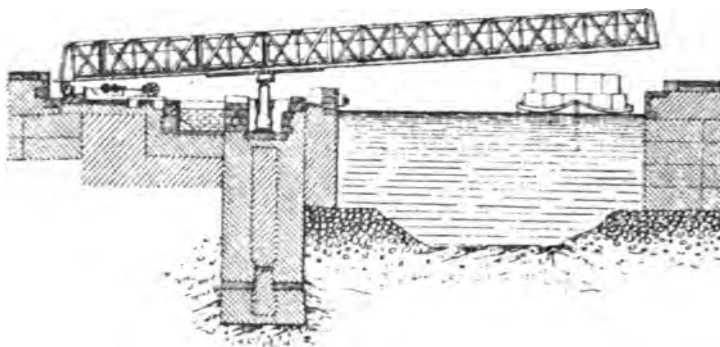
Supposons le pont arrivant avec une certaine vitesse contre la roulette D ; il la refoule et le piston est repoussé, facilement d'abord, puis avec une force croissante, puisque l'eau a des issues de plus en plus petites ; à la fin, quand le piston arrive dans la partie cylindrique *ab*, l'eau ne peut plus sortir que par le petit tuyau *t'*, ce qui se fait avec assez de lenteur pour que la force vive du pont soit absorbée.

Au moment où l'on repousse le pont, l'excès de pression sur la face postérieure du piston, dû à la différence de pression entre les tiges *c* et *c'*, ramène le piston en avant, ce qui facilite le démarrage.

Pont de la Joliette (fig. 349). — Etabli sur la traverse de la Joliette de 21,30 *m* de largeur, il diffère des précédents en ce qu'on le tourne seulement pour le passage des grands bâtiments, mais qu'on ne fait que le soulever pour les allèges. Il mesure 41 mètres de longueur sur 8 mètres de largeur.

Pour la rotation il suffit de le soulever de 15 *cm* environ pour dégager le tablier et faire toucher les deux galets de culasse. Pour le soulèvement, on peut lever le piston jusqu'à 90 *cm* (en général de 50 *cm*), et la hauteur sous l'extrémité libre de la volée est alors de 4,60 *m*. Ce mouvement ne peut avoir lieu sans que la distance des galets de culasse au pivot se modifie, et il a fallu des dispositions spéciales. De

même on a réduit la consommation d'eau en donnant au piston-pivot deux diamètres différents. La course du piston est limitée par un obturateur spécial.



Elévation.

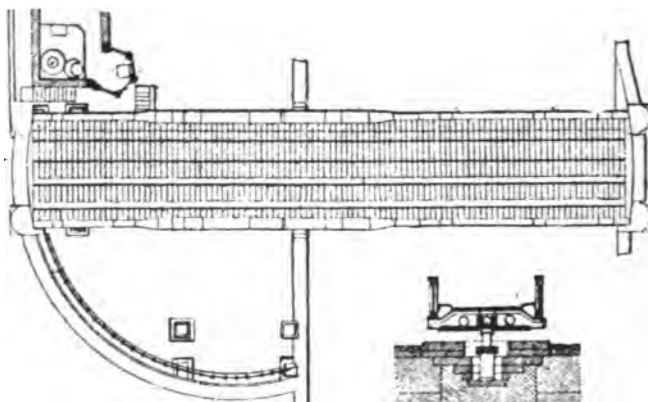


Fig. 349. — Marseille, pont de la Joliette. Plan et coupe transversale.

L'inconvénient de ce système est double : la stabilité est moindre que dans les autres, et le piston de la presse, pendant le soulèvement, travaille obliquement.

Pont tournant flottant. — Aux docks Spencer, à Dublin, on a établi sur une passe de 8,50 m un pont dont le centre de gravité repose sur une bouée ; le pont pèse 100 tonnes, et la force ascensionnelle de la bouée n'est que de 95 tonnes, de sorte qu'il reste 5 tonnes pour appuyer celle-ci sur un pivot en bronze, autour duquel elle tourne.

Les volées sont portées sur une couronne de petites roues. Elles reposent par l'intermédiaire de colonnes assez longues sur la bouée qui,

de cette façon, reste toujours submergée quelle que soit la phase de la marée.

Pont de Dudzeele. — Comme exemple de pont tournant dans un cas spécial, on peut citer celui de Dudzeele, établi sur le canal de Bruges à la mer, dont la largeur est de 22 mètres au plafond et 70 mètres à la flottaison. Deux piles sont établies à l'aplomb des rives du plafond, c'est-à-dire espacées de 22 mètres, et deux culées sur les berges. Il y a donc trois travées : deux de 22 mètres de largeur (canal et talus est) sont recouverts par le pont mobile ; le troisième, de 17,50 *m* par un pont fixe. La pile pivot a 5,50 *m* de largeur, l'autre 3,50 *m*.

Le tablier, long de 50,77 *m*, comprend une voie charretière de 2,50 *m* de largeur et deux trottoirs d'un mètre. Les deux poutres de rive en treillis sont réunies par des entretoises espacées de 3 mètres et par un portique laissant une hauteur libre de 4,50 *m*.

Le support est formé d'un pivot en acier coulé, d'un diamètre de 20 *cm*, encastré dans un socle en fonte et recouvert d'une cloche en fonte aux ailes boulonnées aux chevêtres ; le frottement a lieu sur deux lentilles de 16 *cm* de diamètre ; l'inférieure, concave, est en acier, la supérieure, convexe, en bronze phosphoreux. Quatre galets de 50 *cm* de diamètre roulent sur une couronne occupant toute la largeur de la pile. Le mouvement est donné à la main par un pignon commandant une roue dentée.

Le calage se fait par quatre coins qui s'engagent entre des glissières fixées aux faces inférieures des poutres à leurs extrémités et des supports à plan incliné, fixés sur la maçonnerie.

La manœuvre exige 2 minutes et demie pour la rotation et 1 minute et demie pour le calage, qui est exécuté par deux hommes.

PONTS ROULANTS

Le meilleur système de ponts mobiles, surtout pour les grandes portées, est le pont tournant. La manœuvre est facile, exige peu de force ; l'ensemble est relativement léger. La volée unique surtout présente de grands avantages, complétés par l'emploi de la pression hydraulique.

En revanche, ces ponts exigent un grand espace latéral ; l'encuvement, où l'on ne peut rien placer, est gênant pour les manœuvres. Aussi préfère-t-on parfois les ponts roulants, dont le mouvement est

rectiligne et qui peuvent être retirés en arrière, de la largeur voulue pour assurer le service de la navigation.

En Angleterre et à Anvers, au bassin du Kattendijk, le mouvement de translation est combiné avec un basculement. Ce système conduit à des poids considérables. En France, on emploie deux types :

Celui de Saint-Nazaire et Saint-Malo a pour caractéristique le soulèvement par une presse centrale agissant sur un chevêtre qui porte des galets sur lesquels roule le pont. Il est ensuite transporté sur des roulettes placées sur le terre-plein.

Dans l'autre (Brest, Cherbourg), le pont porte ses galets de roulement avec un dispositif articulé pour assurer la répartition de la charge. Il est toujours soulevé en son milieu par une presse unique et le chevêtre porte une voie qui vient se placer au niveau de celle établie sur le sol.

A Brest la traction s'opère au moyen d'un treuil commandé par une machine rotative à changement de marche. A Cherbourg elle a lieu par l'aide d'un appareil funiculaire avec dispositif spécial pour empêcher le mou de la chaîne.

Pont de Saint-Malo. — Les deux ponts roulants établis sur les écluses de 18 mètres de largeur de Saint-Malo et Saint-Servan ont une longueur totale de 38,80 *m* dont 22,80 *m* pour la volée et 16 mètres pour la culasse ; la largeur est de 8 mètres. Le poids est de 181 tonnes et demie dont 35 et demie pour le contrepoids de la culasse.

Les machines de compression et l'accumulateur sont placés dans un bâtiment intermédiaire, d'où part l'eau sous pression, qui se rend dans deux pavillons de manœuvre situés près des ponts.

L'ensemble du mécanisme comprend :

1° Une presse hydraulique placée à l'aplomb du centre de gravité du pont ; la tête du piston supporte un chevêtre sur lequel s'appuient les fermes du pont, pendant la manœuvre de soulèvement et d'abaissement ;

2° Deux cylindres hydrauliques fixés sur les côtés du chevêtre, avec moufles dont les chaînes vont se fixer chacune à l'une des extrémités du pont ; ces cylindres travaillent simultanément, l'un se remplissant pendant que l'autre se vide ; et au moyen de poulies de renvoi, on obtient le roulement du pont en avant ou en arrière ;

3° Quatre petits cylindres hydrauliques, dont les pistons avancent ou reculent directement, à volonté ; quatre galets doubles qu'on pose sous

les fermes du pont, après la manœuvre de soulèvement, pendant le mouvement de translation.

On a appliqué à Saint-Malo un appareil dit *récupérateur*, destiné à économiser la quantité d'eau nécessaire au soulèvement.

Le diagramme (fig. 351 *bis*) fait comprendre le fonctionnement de la balance hydrostatique formée par la presse hydraulique et le récupérateur.

La presse A communique par le tuyau T avec le récupérateur B, qui se compose d'un cylindre vertical où se meut un piston portant une caisse lestée C, dont la charge est réglée de telle sorte que le pont P, en descendant, refoule l'eau de la presse sous le piston D du récupérateur et soulève la caisse C.

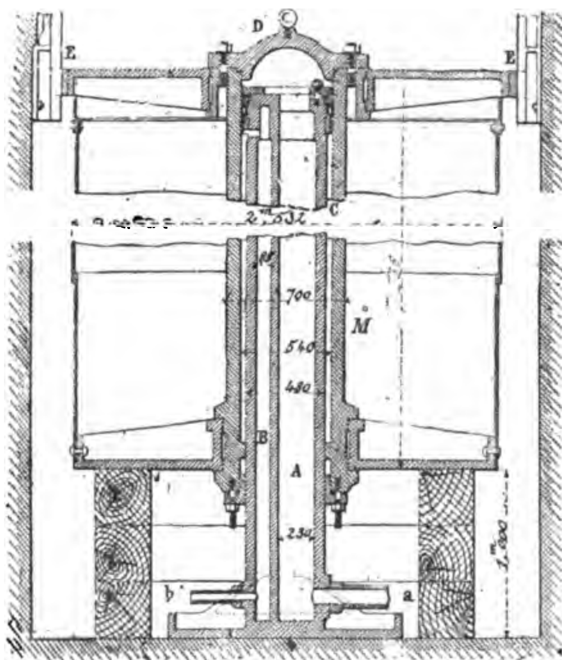


Fig. 350. — Coupe du récupérateur. Pont de Saint-Malo.

Autour du piston D est un espace annulaire, où l'on peut faire arriver l'eau de l'accumulateur, et il est calculé pour que la pression ainsi obtenue, ajoutée à celle du lest C, suffise pour refouler l'eau dans la presse et soulever le pont. Il ne faut donc qu'un faible volume pour produire cet effet.

Pour éviter d'avoir à retirer la caisse C et le piston, en cas de changement de la garniture, on a renversé l'appareil (fig. 350). Le piston et sa tige sont fixes ; c'est le cylindre qui, mobile, porte le lest. On peut donc changer la garniture en enlevant le couvercle.

La tige du piston est un cylindre creux en fonte A, de 48 *cm* de diamètre, portant supérieurement des bagues en fer formant un piston de 54 *cm* de diamètre, garni de deux cuirs emboutis.

L'eau de la presse entre dans le piston par le tuyau *a* et soulève le cylindre mobile M qui glisse inférieurement contre la tige dans un presse-étoupes.

5° Plan.

3° Coupe de la tige du piston.

2° Appareil *a*.

4° Coupe.

Fig. 350. — Saint-Malo. — Plan du récupérateur.

La tige du piston est doublement creusée à l'intérieur; il s'y trouve, en outre de la cavité A, une autre B, où peut pénétrer l'eau de l'accumulateur par le tuyau *b* ; elle en sort, supérieurement, par un trou situé au-dessous du piston et se répand dans l'espace annulaire C, entre la tige du piston et le cylindre mobile.

La figure 352 est le plan du pavillon de manœuvre et des machines.

Les trois manœuvres différentes sont opérées par un seul mécanicien, au moyen des appareils de distribution *a*, *b*, *c*.

L'appareil *a* est représenté en détail par la figure 350, 2°. Il est en fonte et élevé à la hauteur de la main sur une colonne.

m est le tuyau qui vient de l'accumulateur au distributeur.

n le tuyau d'évacuation de l'eau du distributeur sur la conduite générale de retour.

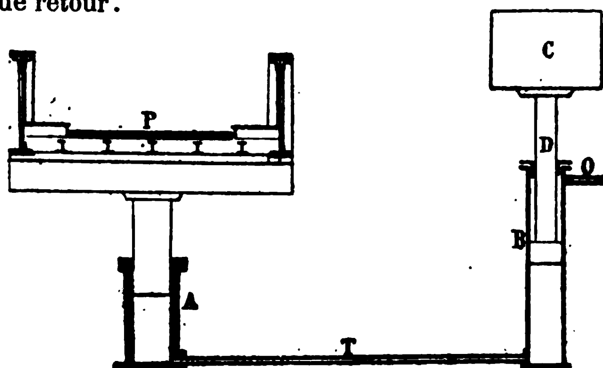


Fig. 351 *bis*. — Diagramme du récupérateur.

o est le tuyau marqué *b* dans la figure 1°; c'est celui qui fait communiquer l'accumulateur avec la capacité annulaire C.

p est le tuyau marqué *a* dans la même figure. Il fait communiquer la presse avec le récupérateur. Ce tuyau est aussi marqué *a* sur le plan général (fig. 352). Il communique aussi, par un branchement spécial avec le tuyau d'évacuation *n*. Sur ce branchement est une soupape de sûreté *e*, qui limite à 38 atmosphères la pression dans le récupérateur et la presse ; cette pression est suffisante pour le soulèvement du pont, et ne demande que très peu d'eau de l'accumulateur pour être atteinte.

Six soupapes de distribution servent aux diverses manœuvres. Ce sont les suivantes :

r sur le tuyau *m* ;

s, sur le tuyau *n* ;

t, sur le tuyau *o* (marqué *b* dans la fig. 1°) ;
u, sur le tuyau *p* (marqué *a* dans la fig. 1°) ;
v, qui envoie dans la presse et le cylindre du récupérateur l'eau arrivée par le tuyau *m* ;
x, qui envoie dans le tuyau *n* l'eau revenant de la presse et du cylindre du récupérateur.
Ces communications réglées par des soupapes *v* et *x* s'établissent par le tuyau *y*.
z, est un purgeur d'air.

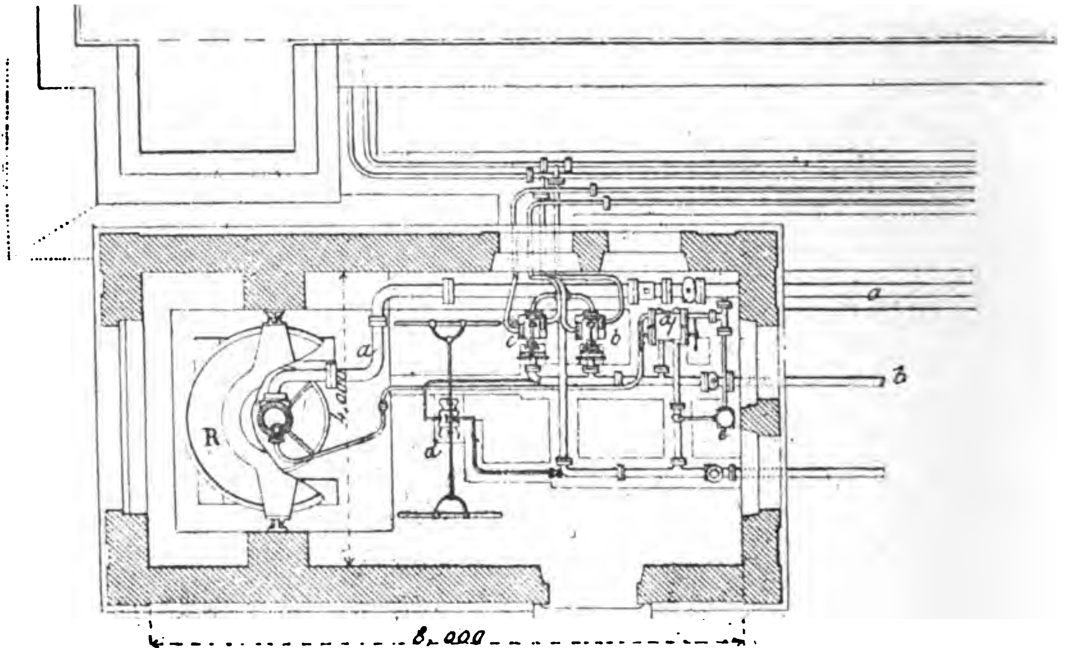


Fig. 352. — Récupérateur de Saint-Malo. — Plan des machines.

Voici, dès lors, la manœuvre de soulèvement du pont :

On met le récupérateur au haut de sa course, en lui envoyant de l'eau par la soupape *v*.

On ouvre les soupapes *t* et *r*, l'eau pénètre dans la cavité annulaire du récupérateur ; le cylindre mobile s'abaisse et le pont est soulevé.

On amène les galets mobiles sous le pont, et l'on ferme la soupape *v*.

On abaisse le pont sur les galets mobiles ; pour cela, on ouvre la soupape *x* ; l'eau de la presse s'écoule lentement par les tuyaux *y* et *n* ; on dégage le chevêtre jusqu'à 3 *cm* au-dessous des fermes du pont. Celui-ci peut être alors tiré à terre par les presses de translation.

Pour le remettre en place, on le ramène sur l'autre presse de translation ; on ouvre la soupape *v*, l'eau sous pression entre dans la presse, qui a à peine été vidée ; le chevêtre soulève le pont ; on ramène en arrière les galets mobiles, on ferme la soupape *v*, et l'on ouvre *s* ; l'eau de la capacité annulaire du récupérateur s'écoule, et le pont s'abaisse en relevant le cylindre mobile.

L'appareil de distribution *c* du plan général est un simple tiroir, qui commande les cylindres de translation, lesquels sont à simple effet.

L'appareil *b* du plan général est semblable au précédent ; il commande les cylindres qui font glisser en avant et en arrière les supports des galets mobiles ; ces cylindres sont aussi à simple effet.

Quant le pont marche à terre, il roule sur les galets mobiles et aussi sur des galets fixes ; ces galets sont toujours géminés et portés sur un balancier, de manière à multiplier les points d'appui.

Les mouvements sont limités par des tampons de butée, armés de forts ressorts.

Le *récupérateur* offre évidemment le grand avantage d'économiser l'eau, ce qui est précieux dans les localités où on l'achète aux conduites de la ville, et ce qui diminue aussi la force à demander aux machines à vapeur. Mais à Saint-Malo, on a reconnu que l'emploi de cet appareil complique beaucoup les manœuvres, pour arriver à bien élever le récupérateur au repère qui indique le haut de sa course.

Systèmes divers. — A Hambourg, à la jonction du Binennhafen avec un canal de navigation intérieure, existe un petit pont qui, pour donner passage aux allèges, est soulevé à chacune de ses extrémités par une presse hydraulique. Il a 6,50×4,50 *m*.

Le travail est demandé aux conduites de la ville ; mais comme leur pression ne serait pas suffisante, on a eu recours à un multiplicateur spécial. Il se compose d'un cylindre de 1,30 *m* de diamètre, dans lequel se meut un piston plongeur ; celui-ci porte à sa partie supérieure deux puits où pénètrent des pistons de 30 *cm* de diamètre fixes. Les puits, remplis de glycérine, sont mis en communication avec les presses élévatrices. L'eau de la ville faisant monter le grand piston, la glycérine est comprimée à 12 atmosphères et soulève le pont. Pour l'abaisser, il suffit de faire évacuer l'eau ; le pont retombe par son seul poids. Une manœuvre exige trois mètres cubes d'eau.

Chariot roulant de Saint-Malo. — Le pont ou chariot roulant de Saint-Malo a été établi par M. Le Royer pour faire communiquer ensemble les villes de Saint-Malo et de Saint-Servan à l'entrée de l'avant-port. La distance est de 90 mètres ; on a installé à mer basse, sur le fond de l'entrée, une voie ferrée de 4,60 *m* de largeur. Un truc y circule, qui porte 4 montants en fer, de 10,50 *m* de longueur et de 100 *mm* de diamètre, soigneusement contreventés et réunis supérieurement par une plateforme de 7 mètres sur 6. Les roues ont un mètre de diamètre. Le poids total est de 14 tonnes.

Dans les plus grandes marées, la plateforme se trouve à 50 *cm* au-dessus de l'eau.

La manœuvre se fait au moyen de chaines qui s'enroulent sur un large tambour de treuil, actionné par une machine à vapeur située du côté de Saint-Servan ; le voyage, aller et retour, s'exécute en 2 minutes et demie.

Pont pliant. — Les bassins de radoub sont le plus souvent fermés par des bateaux-portes qui servent de ponts. Les caissons glissants ou roulants offrent un inconvénient, c'est que leurs rails sont

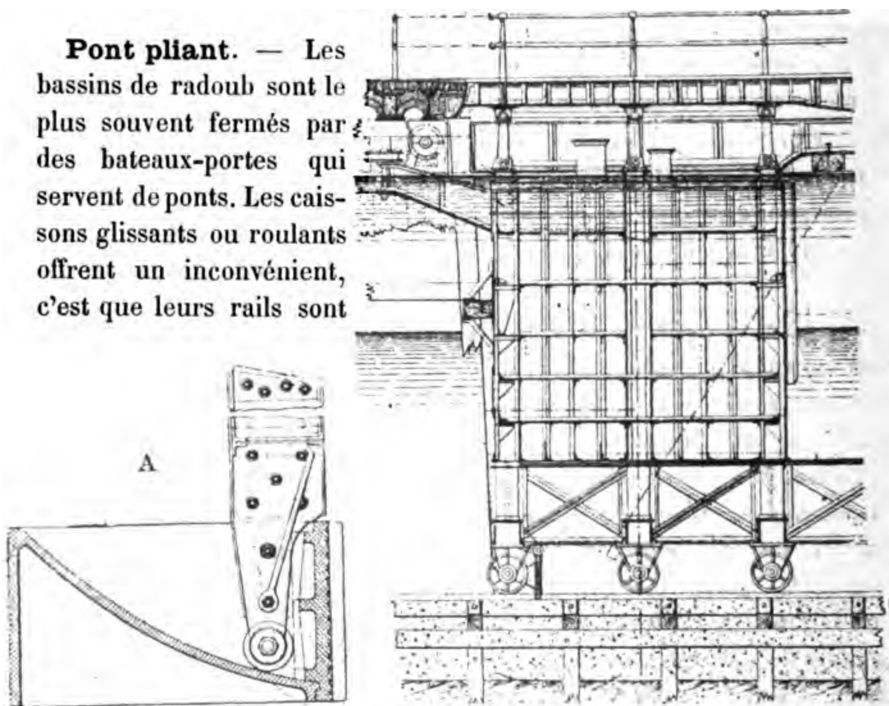


Fig. 353. — Greenock.

de niveau avec ceux que supporte le plancher disposé au-dessus de la chambre de retraite et qu'en conséquence ils ne peuvent passer sous ce plancher sans une disposition spéciale.

M. Kinipple a établi un type à plateforme pliante qui a ensuite été appliqué comme un véritable pont roulant au port de Greenock.

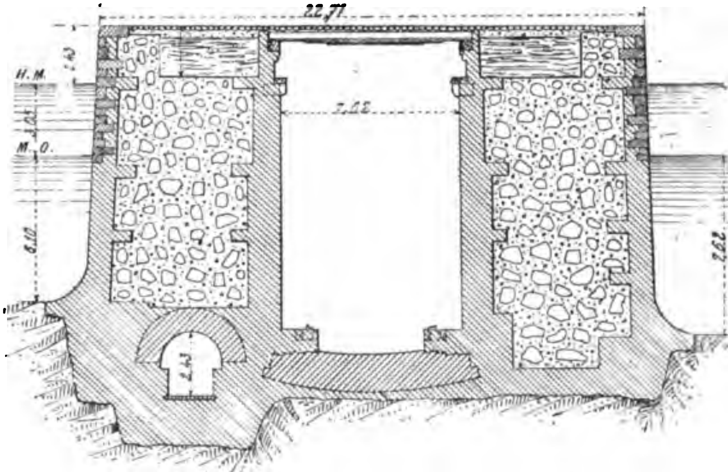


Fig. 353. — Chambre du caisson.

Le tablier du pont est porté par des colonnettes articulées à leur base; quand le caisson est en place, ces montants sont verticaux et les rails de niveau avec le plancher. Les colonnettes s'abaissent automatiquement dans le sens longitudinal et le tablier s'aplatit sur la face supérieure du caisson, quand il s'agit de faire passer celui-ci dans la chambre de retraite.

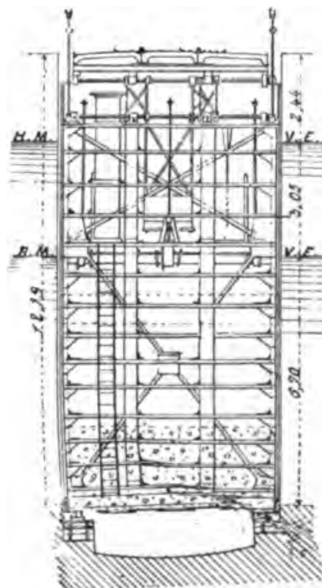


Fig. 354. — Greenock. — Coupe.

Les figures 353 représentent la disposition du bateau-porte de la cale sèche. Quand on le fait rentrer dans la chambre latérale, la longrine sur laquelle sont articulées les colonnettes, bute contre une pièce qui barre le passage et la force à s'incliner en même temps que le tablier.

A l'ouverture, c'est l'axe de cercle représenté en A qui force les chandeliers à se relever.

Les figures 354 se rapportent au pont établi à Greenock sur une passe de 31 mètres de largeur devan

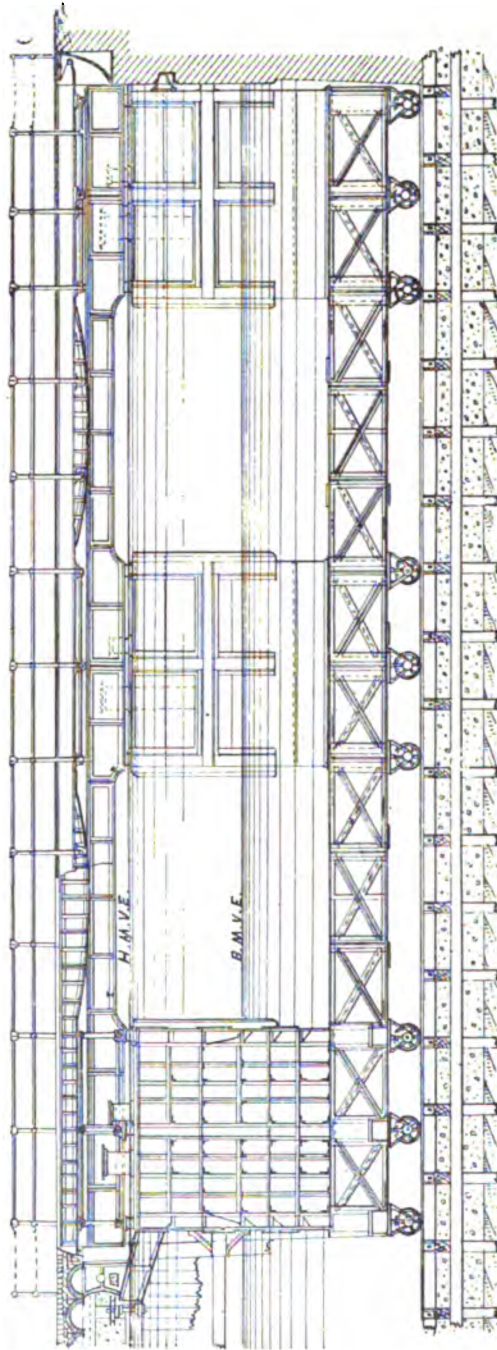


Fig. 354. — Greenock. (Pont pliant. Elévation).

le bassin de l'Ouest. Il se compose de trois caissons étanches de 5,50×5,50 *m* espacés de 7 mètres et portés chacun sur six galets. Ils sont réunis par des longrines à leur parties supérieure et inférieure.

TRAVERSÉE DES PORTS

La communication entre les rives opposées d'un chenal, d'une écluse s'établit d'ordinaire au moyen de ponts mobiles. Quand la distance est considérable, la solution est coûteuse et l'on a recours à d'autres procédés.

Ce n'est pas tout à fait dans la catégorie des systèmes que nous considérons que rentrent les bacs à vapeur qui traversent la Mersey entre Liverpool et Birkenhead, l'East River ou l'Hudson entre New-York et Brooklyn ou New-Jersey, ni les tunnels qui passent sous la Mersey entre les ports déjà cités ou sous la Clyde entre Glasgow et

Govan et dans lesquels l'ascension et la descente s'effectuent par des ascenseurs hydrauliques.

Pont flottant de Portsmouth. — Nous devons cependant une mention au soi-disant « pont flottant » qui relie Portsmouth à Gosport et qui n'est autre chose qu'un bac à vapeur ou un système particulier de touage. Il pourrait servir de modèle pour d'utiles installations.

La coque rectangulaire du bac mesure 30×19 mètres avec un tirant d'eau d'un mètre. A chaque extrémité sont deux passerelles articulées ; celles d'une extrémité sont reliées à celles de l'autre par des chaînes de longueur constante portées sur des poulies, de sorte que l'abaissement des unes entraîne l'exhaussement des autres.

Les chaînes motrices sont attachées d'une part à Portsmouth, d'autre à Gosport ; elles entrent dans le bateau par des écubiers et passent sur des poulies dentées de 3,20 *m* de diamètre, actionnées par une roue motrice de 3,75 *m* de diamètre, à aluchons, commandée par un pignon d'un diamètre cinq fois moindre. La machine à vapeur fait 60 révolutions à la minute.

Les chaînes sont en acier doux de 40 *mm* de diamètre sans étançons de la forme ordinaire.

Les passerelles articulées sont creuses ; en cas d'accident elles ne plongeraient donc pas.

Transbordeur. — Ce système, d'abord employé à Portugalete sur le Nervion, l'a été ensuite à diverses localités, sur des largeurs croissantes. Les figures 355 représentent celui de Bizerte. Il a l'avantage de laisser la passe libre et de n'imposer à la circulation aucune ascension.

Deux pylônes espacés de 109 mètres et d'une hauteur de 59,75 *m* supportent un pont suspendu dont le tablier est à 45,50 *m* au-dessus de la mer. Sur le tablier est installée la voie ferrée d'un chariot auquel est attachée par des câbles une plateforme. Elle a une longueur de 9 mètres, une largeur de 7,50 *m* partagée en une voie charretière médiane de 5 mètres et deux trottoirs de 1,25 *m* chacun.

Complètement chargée, la plateforme contient deux voitures et 90 piétons. La chambre des machines est située sur l'un des pylônes à une hauteur de 20 mètres au-dessus du quai. Le moteur de 15 chevaux actionne un treuil dont le câble passe sur des poulies de renvoi fixées à l'autre pylône, et dont les extrémités sont attachées au chariot.

Les fondations à l'air comprimé descendent à des profondeurs variant de 6 à 10 mètres.

Les figures 356 indiquent l'assemblage des rails avec la poutre supérieure et celui des roues avec le châssis mobile.

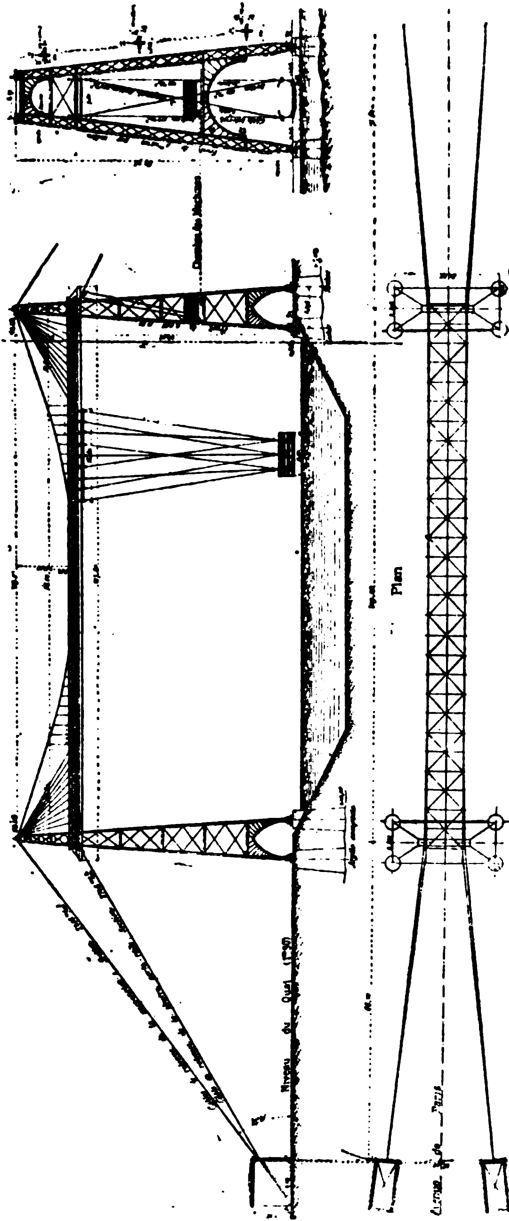


Fig. 355. — Transbordeur de Bizerto.

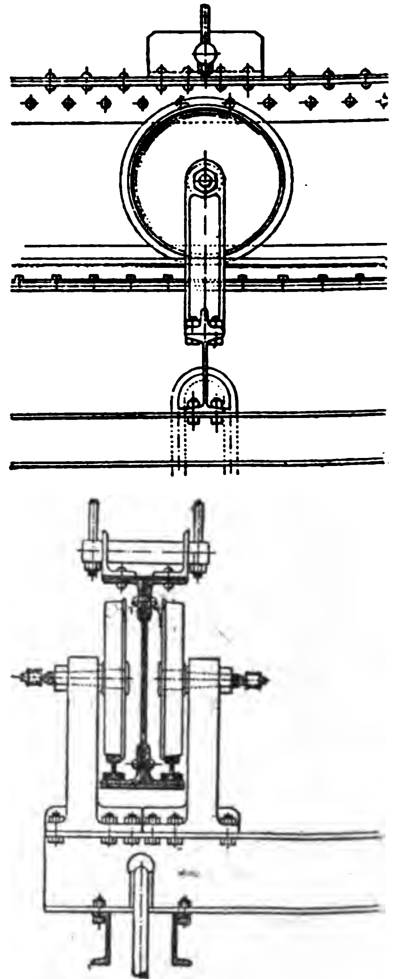


Fig. 356.— Détails du transbordeur.

CALCULS DES PONTS TOURNANTS.

Ils sont basés sur ceux que M. Widner a exécutés pour les ponts du canal de Tancarville.

Entretoises. — Elles ont à supporter : 1° le poids du tablier P par mètre courant du pont ; 2° le poids d'une locomotive p ; 3° une charge de p' kilogrammes par mètre carré de chaque trottoir.

Soient e l'espacement et l la longueur des entretoises, chacune supporte par mètre courant $\frac{Pe}{l}$, charge à laquelle il faut ajouter le poids p'' par mètre de l'entretoise elle-même.

$$\frac{Pe}{l} + p'' = P'$$

On admet que si la charge roulante repose sur une entretoise, celle-ci en supporte la moitié, l'autre moitié étant répartie également sur les deux entretoises voisines.

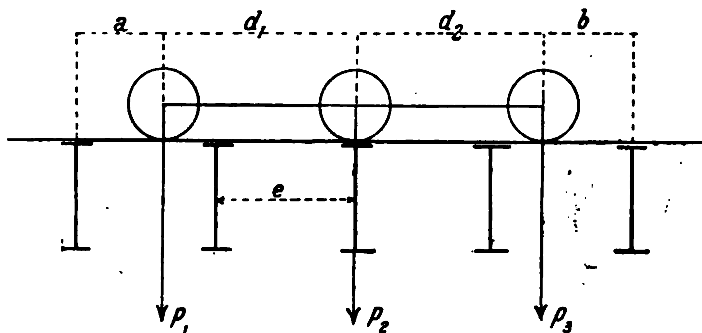


Fig. 357. — Charge.

Supposons donc une locomotive (fig. 357) de poids p réparti ainsi que l'indique la figure, savoir :

p_2 sur l'essieu du milieu, p_1 sur l'essieu d'avant, distant de d_1, p_2 sur l'essieu d'arrière, distant de d_2.

L'essieu du milieu reposant sur l'entretoise B, celle-ci porte donc $\frac{p_2}{2}$ et les deux voisines A et C portent chacune $\frac{p_2}{4}$.

Si les essieux d'avant et d'arrière reposaient directement sur les entretoises A et C, celles-ci porteraient la moitié de p_1 et p_2 et B le quart de chacune. Mais, vu la position indiquée par la figure, la charge portée par B est diminuée, pour l'essieu d'avant dans le rapport $\frac{a}{e}$ et pour celui d'arrière de $\frac{b}{e}$.

B portera donc, provenant de l'essieu d'avant

$$\frac{p_1}{4}\frac{a}{e}$$

et de celui d'arrière

$$\frac{p_3}{4}\frac{b}{e}$$

Sa charge totale est

$$C=\frac{p_2}{2}+\frac{ap_1}{4e}+\frac{bp_3}{4e}$$

dont moitié sur chaque roue.

Les trottoirs dont la largeur est t sont estimés devoir porter 300 kilogrammes par mètre carré ; chacun transmet donc à l'entretoise

$$300\,et=c'$$

Ensemble, les trottoirs et la locomotive pèsent donc

$$\frac{C}{2}+c'=c''$$

sur la moitié de l'entretoise.

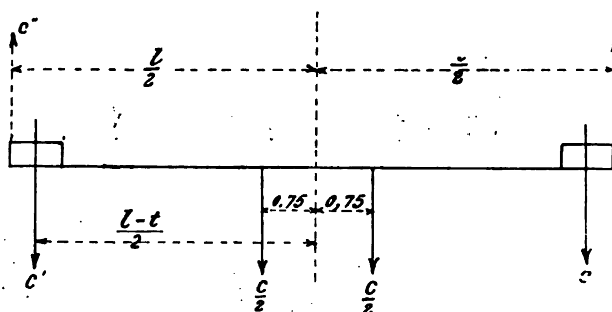


Fig. 358.

Pour calculer le moment fléchissant, rappelons que l'écartement des roues est d'environ 1,50 m (moitié = 0,75), et que la distance du milieu d'un trottoir au centre du pont est (fig. 358).

$$\frac{l-t}{2}$$

Le moment fléchissant maximum, qui s'exerce au milieu de la poutre, a pour valeur

$$M=c''\frac{l}{2}-c'\frac{l-t}{2}-\frac{C}{2}\times 0,75+\frac{P'l^2}{8}$$

$\frac{RI}{n}$ étant le moment de la résistance de la pièce (n demi-hauteur, I moment d'inertie, R la charge par unité de surface); on a :

$$R = \frac{Mn}{I},$$

effort qui ne doit pas dépasser 6 kilogrammes par millimètre carré pour le fer.

L'effort tranchant maximum, qui s'exerce aux extrémités de l'entretoise, a pour valeur C"; elle est répartie sur la section de la pièce et doit également être supportée par les rivets qui unissent l'entretoise à la poutre maîtresse.

Poutres maîtresses. — Le poids par mètre courant du pont, tablier et entretoises compris, est connu; la moitié est afférente à chaque poutre maîtresse, qui supporte également son propre poids.

Soient c la charge répartie par mètre courant du pont, V la longueur de la volée.

Quand le pont est ouvert, basculant sur un pivot, la poutre maîtresse constitue une pièce encastrée à une extrémité et libre à l'autre; le moment fléchissant s'exerce au pivot et a pour valeur

$$M = \frac{cV^2}{2} \quad \text{et} \quad R = \frac{MN}{I}$$

d'où l'on concluera les dimensions de la poutre. Ces dimensions sont suffisantes pour le cas où le pont est fermé et où il repose sur ses appuis, au nombre de trois.

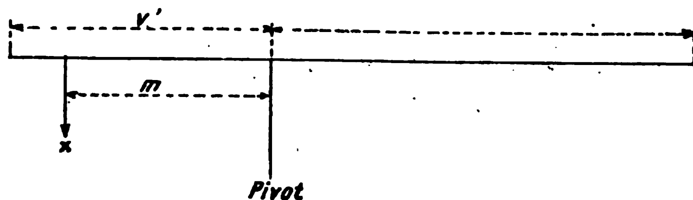


Fig. 359. — Lest.

Lest (fig. 359). — Il se calcule en prenant, par rapport au pivot, le moment des forces qui agissent de chaque côté. Soient V' la longueur de la culasse, m la distance du point d'application du lest x au pivot, on a donc, en faisant intervenir le poids $2c$ uniformément réparti sur les deux poutres maîtresses.

$$mx + \frac{2cV'^2}{2} = \frac{2cV^2}{2} \quad \text{d'où} \quad x = \frac{c(V^2 - V'^2)}{m}$$

Sommiers (fig. 360). — L'effort maximum se produit aux extrémités du diamètre T de la tête de la presse hydraulique sur laquelle reposent

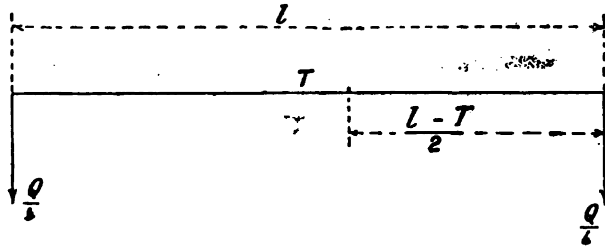


Fig. 360. — Calcul des sommiers.

les sommiers ; il a pour valeur, en remarquant que chaque extrémité des sommiers porte le quart du poids du pont $\frac{Q}{4}$.

$$M = \frac{Q}{4}\,\frac{l-T)}{2} + \frac{q(l-t)^2}{2}$$

q étant le poids du sommier par mètre courant.

On tire R comme précédemment.

CHAPITRE XXXIII

CANAUX MARITIMES

Le creusement de canaux maritimes a pour but de raccourcir la route des navires ou de permettre leur accès à un port important situé à l'intérieur et dont l'ancien chenal est devenu insuffisant. Dans la première catégorie le canal de Suez est l'exemple le plus important; les chenaux d'Amsterdam et de Rotterdam rentrent dans la seconde. Le succès de ces voies de communication a été tel que partout aujourd'hui surgissent des projets de coupures d'isthmes et de jonctions de mer. Bien qu'aucune de ces entreprises ne paraisse devoir donner les résultats obtenus à Suez, leur exécution n'en amènerait pas moins dans la plupart des cas des richesses nouvelles à des pays déshérités.

Un canal, en outre de l'intérêt commercial, a eu un but stratégique: c'est celui de l'Empereur Guillaume, destiné à la concentration facile des escadres allemandes.

Tracé. — Il est clair que le tracé doit autant que possible éviter les obstacles naturels comme les montagnes, les terrains rocheux, etc. La rencontre des torrents est fort dangereuse : dans leurs crues ils peuvent faire déborder et ravager le lit creusé artificiellement; il est donc nécessaire d'aviser à leur dérivation, si elle est possible.

La nature du terrain est très importante à connaître, pour l'estimation probable de la dépense. Sur le canal de Chicago, malgré l'avis de l'ingénieur en chef qui désirait sonder le sol par des puits creusés à ciel ouvert, on s'est contenté des données fournies par les forages ordinaires et il s'y est produit de tels mécomptes que plusieurs entrepreneurs ont dû résilier leur marché après des pertes considérables.

Les courbes doivent être évitées autant que possible. Dans un canal comme celui de Suez en son état primitif, avec 22 mètres de plafond, c'est-à-dire sur la base inférieure de sa section droite, un navire de

200 mètres de longueur et 20 mètres de largeur se bloquerait absolument dans une courbe de 450 mètres de rayon et gouverne difficilement avec 1000 mètres. Il est donc prudent de ne pas descendre au-dessous de 2000 mètres et mieux vaut, même pour des largeurs plus considérables, se tenir à un minimum de 3000 mètres de rayon. A Suez, où il y avait des courbes de près de 1000 mètres, il a fallu y élargir le chenal.

Largeur. — La largeur de 22 mètres avait été adoptée à Suez dans la prévision que deux navires ne devaient jamais passer en même temps en sens contraire. Les croisements avaient lieu en des *gares* déterminées, distantes d'environ 12 kilomètres et élargies à 35 mètres. L'un des deux bâtiments s'y amarrait à des pieux disposés sur les berges et l'autre passait lentement. Il résultait de cette manœuvre de grandes pertes de temps. Avec le plafond de 22 mètres, la moindre erreur du gouvernail se traduisait par des échouements. Ces considérations réunies ont déterminé l'élargissement à 35 mètres.

Le canal d'Amsterdam a 27 mètres de plafond, mais vu son mouillage de 7 mètres seulement, il ne reçoit pas de navires aussi grands que celui de Suez. Deux navires moyens peuvent y croiser lentement ; *ils gouvernent l'un sur l'autre* et passent en se frôlant, mais évitent ainsi les chances d'échouage contre les berges.

Au canal de Manchester, qui a 36 mètres de plafond, on a adopté la même manœuvre et deux navires se croisent sans accident à la vitesse de 11 kilomètres.

Profondeur. — La profondeur doit être suffisante pour que les navires aient au moins 50 *cm* d'eau sous leur quille. Celle du canal de Suez a dû être portée de 8 mètres à 8,50 *m* et sera encore augmentée. Il en est de même du canal d'Amsterdam.

La hauteur d'eau sous la quille est nécessaire tant pour la facilité d'action du gouvernail que pour la conservation du plafond.

Section droite. — La section droite dépend de la nature du terrain. On sait qu'en désignant par h la profondeur, a la largeur au plafond, φ l'inclinaison du talus sur l'horizontale, la section la plus avantageuse S est donnée par les formules

$$h = \sqrt{\frac{S \sin \varphi}{2 - \cos \varphi}} \qquad a = \frac{S}{h} - h \cot \varphi$$

Pour les terrains durs, ces formules donnent $\varphi = 45°$, pour les terrains fermes $\varphi = 35°$ et pour le sable, les sols légers $\varphi = 26°$. Au canal de Corinthe, dans le roc, φ monte parfois à 85°.

Mais il n'y a pas lieu de prévoir seulement l'éboulement naturel des terres. Les vapeurs, en repoussant l'eau, déterminent de chaque côté une vague qui les suit et dont la hauteur dépend de la largeur du canal. A Suez, ces ondes atteignaient 80 *cm* de hauteur et dégradaient les berges; elles sont moindres depuis l'élargissement. Les dégradations se propagent jusqu'à 6 mètres au-dessous du plan d'eau, c'est contre elles qu'il est nécessaire de garantir les talus.

Vitesse des navires. — La première précaution à prendre contre l'érosion est de limiter la vitesse du passage des navires. Elle est au maximum de 10 kilomètres à l'heure à Suez. A Manchester, où la section est plus grande, la vitesse permise est de 6 milles (11,1 *km*). Les petits navires peuvent aller à 14,8 *km* (8 milles). Mais il y a de fréquentes violations du règlement et les steamers de cabotage vont parfois à 13 milles ou 24 kilomètres.

Protection des berges. — Lorsque le canal est alimenté par de l'eau douce, ou même saumâtre, les plantes aquatiques y poussent facilement et constituent une excellente protection de la partie supérieure. Dans les canaux allemands, on a obtenu de très bons résultats des plantations de roseaux et surtout de joncs, qui peuvent pousser jusqu'à la profondeur de 1,50 *m*. Au-dessous sont disposés des matelas de fascines épais de 90 *cm* et retenus par des piquets complètement enfoncés.

Les roseaux et les joncs se plantent par touffes de racines; celles-ci sont enfouies dans des trous creusés à la bêche et il faut piétiner la terre à l'entour. Les plantations doivent être faites une année au moins avant la mise en service du canal, pour que les plantes aient le temps de se développer.

A Suez, dans certaines portions où des sources souterraines rendent l'eau saumâtre, des plantations de tamaris ont pu réussir, mais ne rendent pas de services bien appréciables.

On a encore tenté des revêtements en charpente, mais c'est un procédé coûteux et périssable.

Le mieux, quand il n'est pas nécessaire d'effectuer de trop grands dragages, est de laisser les talus prendre la forme que leur donnent les

vagues. Mais ce résultat ne peut être obtenu que dans certaines conditions, par exemple lorsqu'il faut approfondir un lac déjà existant (Menzaleh à Suez).

Autrement, il faut recourir à la protection par perrés ou enrochements.

L'expérience du canal de Manchester a conduit M. Hunter, l'ingénieur en chef, aux conclusions suivantes :

Les clayonnages doivent être proscrits; il faut adopter des perrés en pierres; mais il est inutile d'en revêtir les talus sur toute la hauteur. A 1,50 *m* au-dessous du plan d'eau, il sera établi une berme à partir de laquelle le perré affectera une pente de $\frac{1\frac{1}{2}}{1}$; au-dessus de la surface de l'eau le talus pourra atteindre $\frac{3}{1}$.

Avec ces précautions, les érosions ne seraient pas à redouter.

Au canal de Suez, il a été également constaté que les dégâts occasionnés aux talus n'étaient guère à craindre à la base; les perrés sont limités à la profondeur de 2,50 *m* au-dessus du plan d'eau où l'on ménage une berme.

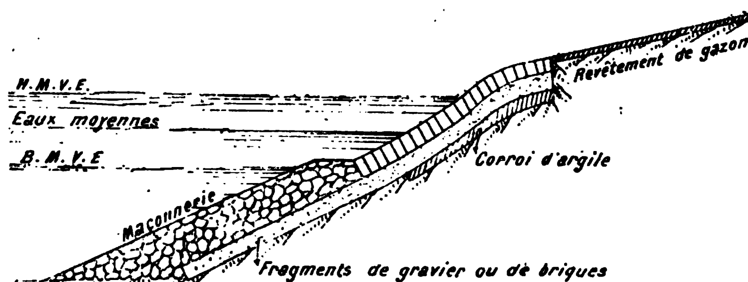


Fig. 361. — Revêtement du canal de l'Empereur Guillaume.

Au canal de l'Empereur Guillaume le revêtement est indiqué par la figure 361.

La rivière Dee, au-dessus d'Aberdeen, a été régularisée par la construction d'un canal. Les berges sont consolidées par une rangée longitudinale de pilotis enfoncés au tiers de la hauteur du talus à partir de la base; cette barrière retient la partie supérieure, au cas d'écroulement de la portion inférieure. Dans les sections les plus exposées, celle par exemple où le canal creuse l'ancien lit, la base a été posée sur enrochements.

Sur le canal de Manchester, section d'Irlam, les talus devaient primitivement être perreyés depuis le banc de grès qui forme la base jusqu'à 2 mètres au-dessus du niveau de l'eau; par raison d'économie, ce projet fut abandonné et la protection demandée à des fascinages, confiés à des ouvriers hollandais. Cet ouvrage, parfaitement exécuté et soumis à de sévères épreuves, ne dura pas. Les fascinages, pour bien résister, doivent être cachés sous l'eau et la boue. Là, ils furent en partie incendiés par les flammèches des locomotives; le reste tomba en ruines et fut remplacé par un perreyage en grès.

Le fascinage s'exécutait de la façon suivante : Le talus étant recouvert d'une couche de branchages de 10 *cm* d'épaisseur, des piquets de 5 *cm* de diamètre et de 80 *cm* de longueur étaient fichés normalement au sol, à 75 *cm* de distance, par rangées espacées de 90 *cm*. De la couche de fascines débordait une longueur de 25 à 30 *cm* sur laquelle s'entrelaçaient des branches souples de noyer blanc. Un homme exécutait 12 mètres carrés par jour. A la partie supérieure du talus, sur 2 mètres environ, les branchages étaient d'osier.

Le pavage est posé à sec sur un châlit de pierres cassées ou de débris de carrières; l'épaisseur est de 60 *cm*. Par mois, la surface exécutée montait à 7500 mètres carrés.

CANAL DE SUEZ.

Le canal de Suez qui a été ouvert à la navigation en 1869, s'étend de la Méditerranée à la mer Rouge sur une longueur de 86 milles ou 160 kilomètres. Dans la Méditerranée, le canal a comme port d'entrée Port-Saïd, situé sur une côte sablonneuse, basse, où viennent atterrir les alluvions emportées par le Nil.

Ce fut un sujet de grandes discussions de savoir si le port ne serait pas fatalement encombré. Les Anglais, dont longue a été la résistance à la construction du canal qu'ils ont fini par accaparer, affirmaient que non seulement l'entretien de Port-Saïd était impossible, mais que le canal disparaîtrait également sous l'invasion du sable.

L'entrée du port a été délimitée par deux môles : celui de l'ouest, le plus exposé, est long de 2990 mètres, l'autre de 1900 mètres; la largeur de la passe est de 700 mètres. Les sables et la vase du Nil débordent bien dans l'enceinte abritée, mais le cube des dragages, malgré son chiffre élevé, est peu de chose en comparaison de l'importance de l'œuvre réa-

lisée et des recettes effectuées. Il en est de même dans le canal, où l'entretien annuel exige l'enlèvement de 700 000 mètres cubes.

Du côté de Suez, les alluvions n'ont jamais été à redouter.

On a vu déjà les différences d'amplitude de la marée dans les deux mers et les courants qui en résultent. Ceux-ci sont limités à la section qui s'étend entre les lacs Amers et la mer Rouge.

La traversée du désert s'accomplit en terrain plat, sauf entre El-Ferdane et Chalouf (kilomètres 80 et 160 à partir de la Méditerranée). Il y a eu là à enlever trois éminences ou seuils (Chalouf, Serapeum et El-Guisr). Presque partout le sol était composé de sable parfois mélangé à des débris de coquilles. Quelques bancs d'argile facilement enlevables à la drague ont été également rencontrés, mais n'ont nulle part présenté de difficultés notables.

Le pays lui-même en revanche n'offrait aucune ressource : il y a fallu tout créer et le principal ouvrage accessoire a été la création du canal d'eau douce qui, partant du Nil à peu de distance en amont du Caire, envoie deux branches, une à Suez, l'autre à Ismaïlia, ville bâtie sur la rive occidentale du lac Timsah.

Le tracé du canal n'est malheureusement pas rectiligne. Commencé à la main par les fellahs, il avait déjà quelques portions creusées qu'on a voulu conserver quand l'entreprise méthodique s'en est emparée.

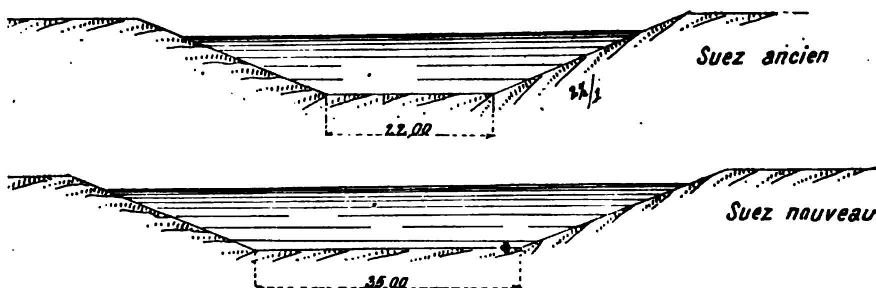


Fig. 362. — Profils du canal de Suez.

Le canal a été terminé avec 8 mètres de profondeur et 22 mètres de plafond ; la largeur à la ligne d'eau varie suivant la nature des berges, mais le talus type est d'environ $2\frac{1}{2}$ sur 1. La route maritime traverse deux lacs : le lac Timsah, dont la profondeur n'était que de 6 mètres, les lacs Amers où l'on sondait 12 mètres. Le grand a 20 kilomètres sur 8 et le petit 15 sur 14.

Ce n'est que dans les lacs que les vapeurs, seuls bateaux qui traversent le canal (les voiliers doivent être remorqués), peuvent donner toute leur vitesse. Il serait d'ailleurs impossible d'obtenir la vitesse maxima même avec toute la force des machines, à cause de la résistance de l'eau.

Le développement prodigieux de la navigation sur le canal a vite fait reconnaître l'insuffisance de sa largeur et les inconvénients provenant des courbes. Deux solutions pouvaient remédier à ces défauts : l'élargissement du canal ou la construction d'un second, chacune des deux voies étant affectée à la navigation dans un seul sens. La deuxième solution a été écartée.

La largeur primitive de 22 mètres au plafond a été portée à 35 mètres, et la profondeur de 8 mètres à 8,50 *m*, de sorte que le canal actuel est aussi large que les anciennes gares ; néanmoins deux navires ne peuvent se croiser en marche s'ils sont tous deux chargés ; l'un est obligé de s'amarrer, ce qui peut d'ailleurs se faire en tout point. Avec l'usage des projecteurs électriques les navires naviguent de nuit ; ainsi a été réduite la durée moyenne du passage.

La traversée dure en moyenne 15 heures 36 minutes.

L'élargissement a amené, bien entendu, une augmentation notable de dragage. Dans le canal seul (sans compter les avant-ports), on a en 1897 extrait 9 210 000 mètres cubes.

CANAL DE TANCARVILLE

La traversée de l'estuaire de la Seine par les bateaux de navigation intérieure est périlleuse ; elle a été supprimée par la création du canal entre le Havre et Tancarville (1887). Sa longueur est de 25 kilomètres ; il ne comprend qu'un seul bief ; mais la position du plan d'eau, au niveau moyen des hautes mers au Havre et au véritable niveau moyen à Tancarville, a nécessité la construction de deux sas éclusés à chaque extrémité.

Le canal part du bassin de l'Eure au Havre ; les bateaux attendent leur tour d'éclusée dans un garage de 50 mètres de largeur sur une longueur moyenne de 220 mètres. Le tirant d'eau minimum y est de 6,50 *m*, ce qui a permis l'utilisation du quai Sud par les bateaux longs-courriers. La communication avec le bassin de l'Eure se fait par un pertuis de 16 mètres de largeur sur 86 mètres de longueur.

Les chambres de l'écluse ont la largeur du pertuis et 54 mètres

de longueur ; elles sont munies de deux paires de portes d'ebbe et de flot à deux vantaux. Le sas a 180 mètres de longueur sur 30 mètres de largeur.

Le bassin fluvial auquel l'écluse donne accès mesure 552 mètres sur 60. Un chenal de 21 mètres de largeur y est créé avec un tirant d'eau de 6 mètres ; mais le long des quais nord et sud, il n'y a respectivement que 3,50 *m* et 5 mètres.

Le bassin fluvial est séparé du canal par un pertuis de 16 mètres de largeur sur 43 mètres de longueur. Le canal se dirige ensuite sur Harfleur et dans cette longueur il présente un mouillage de 6 mètres. Au delà et jusqu'à Tancarville le tirant d'eau n'est que de 3,50 *m*. Dans la première partie le profil comprend un plafond de 19 mètres et deux talus à $\frac{2}{1}$ sur une hauteur de 5,60 *m* ; à ce niveau une banquette de 3 mètres de largeur sépare le premier talus d'un second à 45° qui s'élève jusqu'au sol naturel.

Dans la seconde partie, les dimensions analogues sont : plafond, 25 mètres ; talus inférieur à $\frac{3}{1}$, sur 3,10 *m* ; puis la banquette et talus supérieurs comme ci-dessus.

Entre les deux portions un chenal pareil à celui de la première section se dirige vers le port d'Harfleur, que les travaux ont isolé de la Seine.

En outre des ouvrages d'art précédemment décrits, le canal présente encore les suivants :

Garage de Graville : longueur 300 mètres ; largeur au plafond, 110 mètres, véritable bassin à flot bordé de quais et destiné à desservir la plaine de l'Eure ;

Trois ports privés construits sur des élargissements du canal près du garage de Graville : ce sont des appontements en charpente exploités par trois établissements particuliers ;

Ecluse de Tancarville : C'est un sas de 180 $\times$ 30 mètres avec deux chambres de 16 mètres de largeur, et mesurant l'une 75, l'autre 60 mètres de longueur. Les seuils sont établis de façon à présenter un minimum de 7 mètres d'eau dans les plus faibles mers de morte eau. En creusant la portion du canal comprise entre Harfleur et Tancarville on pourrait donc au besoin faire passer par cette voie les navires à destination de Rouen.

CANAL DE MANCHESTER

La grande ville manufacturière de Manchester est située à 30 kilomètres de Liverpool, où débarquaient jusqu'à ces dernières années les matières premières qui lui étaient destinées. Deux voies ferrées et le canal de Bridgewater ne pouvaient, malgré la concurrence, suffire aux nécessités du trafic. L'élévation du prix des transports décida les négociants de Manchester à construire un canal maritime, par où arriveraient jusqu'à leur ville les navires chargés pour elle.

Manchester étant situé à 18 mètres au-dessus du niveau de la mer, un canal à écluses s'imposait. Le projet de M. Leader Williams fut accepté. Alors commença entre les deux cités une lutte épique, Liverpool voulant à tout prix conserver son trafic. Les ingénieurs les plus éminents de l'Angleterre se partagèrent en deux partis ; il ne manqua d'arguments ni pour ni contre le projet et les promoteurs du canal durent changer plusieurs fois de programme. La lutte se termina en 1895 par l'approbation du Parlement, elle avait coûté dix millions de francs.

La discussion portait principalement sur la situation du point de départ du canal. Au-dessus de Liverpool la Mersey s'étend en une vaste nappe d'eau, souvent appelée l'estuaire intérieur. C'est le remplissage et la vidange de ce bassin par la marée (amplitude de 6,20 à 8,40 *m*), qui maintient les profondeurs du chenal entre Liverpool et Birkenhead. Dans le projet primitif, le canal, limité par deux levées parallèles, venait chercher les grandes profondeurs jusqu'au milieu de l'estuaire intérieur, et ses adversaires craignaient que les murs n'eussent pour résultat le dépôt des alluvions dans la partie d'amont et par conséquent la diminution du bassin.

Les dépôts qui se sont produits dans la Seine derrière les levées de régularisation pouvaient en effet faire craindre pareille éventualité à Liverpool, bien que les deux cas ne soient pas identiques ; mais on a fait état également d'une observation singulière et difficile à expliquer telle qu'elle a été exposée : c'est que le niveau de l'eau dans l'estuaire intérieur, sur une étendue de 9 kilomètres en amont de Garston, resterait étale pendant deux heures après le plein, tandis que dans le reste du bassin il baisserait de plus de quatre mètres pendant ce temps. Quand le jusant commencerait pour cette partie, il serait dès lors très rapide.

On a voulu expliquer ce fait par l'observation connue (I, page 54) que

le niveau d'une rivière peut s'élever ou baisser sans que le courant soit renversé; il n'y a, on s'en rend compte aisément, aucune analogie dans les deux phénomènes, et celui de la Mersey reste inexplicable, s'il est bien réel tel qu'on l'a décrit.

Les expériences pratiquées par M. Vernon-Harcourt sur des modèles tendent à faire admettre qu'en effet des dépôts se seraient produits dans l'estuaire si l'on y avait prolongé les jetées du canal.

Peut-être aurait-on pu simplement draguer dans l'estuaire un chenal non délimité ; certes, il eût été nécessaire de l'entretenir par des dragages ; la question est de savoir si la dépense aurait été supérieure à l'intérêt de la somme qu'a coûté la solution adoptée, la création d'un canal latéral au bassin depuis la première embouchure de la Mersey à Runcorn, jusqu'au terminus, Eastham, situé sur la rive gauche, portion longue de 22 kilomètres.

Le canal a une longueur totale de 57 kilomètres et peut être considéré comme formé de quatre sections différentes : la première, de Eastham à Latchford (39 kilomètres), est caractérisée par l'accession de la marée sous certaines conditions ainsi qu'on le verra plus loin ; la seconde, des écluses de Latchford jusqu'à Rixton, constitue un canal ordinaire (5,5 kilom.), de Rixton aux écluses de Mode Wheel (17 kilom.) la Mersey sur 17 kilomètres et l'Irwell ont été approfondis et régularisés, en coupant quelques boucles ; au delà enfin s'étendent les bassins formant le port de Manchester.

La profondeur normale est de 8 mètres ; le niveau de l'eau est alors à la cote + 4,32 *m* par rapport au repère général de Liverpool, le seuil du Vieux Dock. Ce repère est lui-même à 3 mètres au-dessus des basses mers de vive eau.

Dès que le niveau de la marée atteint la cote de 4,32 *m* qui correspond donc à 7,32 *m* au-dessus des plus basses mers, on ouvre les portes des écluses d'Eastham et la marée pénètre dans le canal, dont la profondeur atteint alors jusqu'à 10 mètres à l'entrée. La vitesse du courant est telle qu'à Latchford, où la pleine mer se manifeste une demi-heure après qu'elle a eu lieu à Eastham, la différence de niveau, qui est de 2 mètres dans cette deuxième localité, atteint 2,40 *m* par suite de l'afflux d'eau.

C'est là un caractère qui différencie absolument le canal de Manchester de celui de Suez ; on a vu (I, page 50), que dans celui-ci la présence des

lacs Amers, à 40 kilomètres de distance, annule la marée venue de la Mer Rouge.

Les écluses de Latchford arrêtent la marée ; de là jusqu'à Manchester le niveau de l'eau s'élève de 18,50 *m* ; cette différence est rachetée par des écluses situées, d'amont en aval, à Mode Whoel, Barton et Irlam. Les longueurs des biefs sont :

Entre Mode Wheel et Barton	6,5 *km*
Barton et Irlam.	3,7
Irlam et Latchford	14,0

La largeur du canal au plafond est de 36,60 *m*, à peu près celle qu'a aujourd'hui le canal de Suez ; les rives sont inclinées à $1 \frac{1}{2}$ pour 1 et sont perreyées depuis le fond jusqu'à 2 mètres au-dessus de la surface.

La majeure partie du mur de séparation entre le canal et l'estuaire est composée d'un noyau d'argile protégé par des enrochements, dont le talus est réglé à 1 sur 1 le long du canal et à 1 1/2 sur 1 du côté de l'estuaire, où de plus est ménagée une berme.

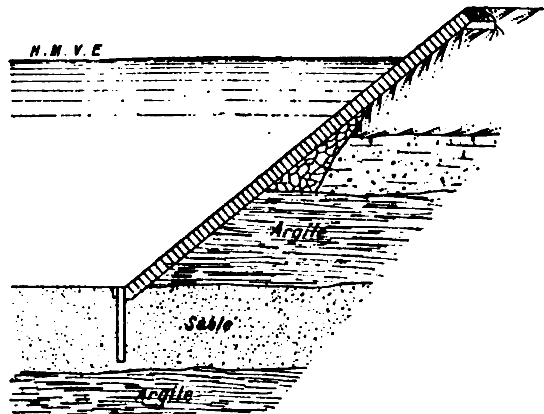


Fig. 363. — Revêtement du canal de Manchester.

Aussi deux bâtiments chargés peuvent-ils se croiser à la vitesse de huit nœuds, sans endommager les bords. Néanmoins, l'ingénieur du canal déclare que s'il avait à refaire les travaux, il ne conserverait le perré que sur une profondeur de 1,50 *m* au-dessous du niveau de l'eau, profondeur à laquelle il établirait une berme de 2 mètres de largeur, destinée à maintenir le perré ; le pavage se continuerait aussi jusqu'à 2 mètres au-dessus de la surface. Il estime que c'est seulement dans

cette zone de trois mètres et demi que les vagues déterminées par le passage des navires dégradent les talus. Les perrés seuls ont coûté 7 millions et demi. Le même ingénieur pense que les talus auraient dû être maintenus à 1 sur 1.

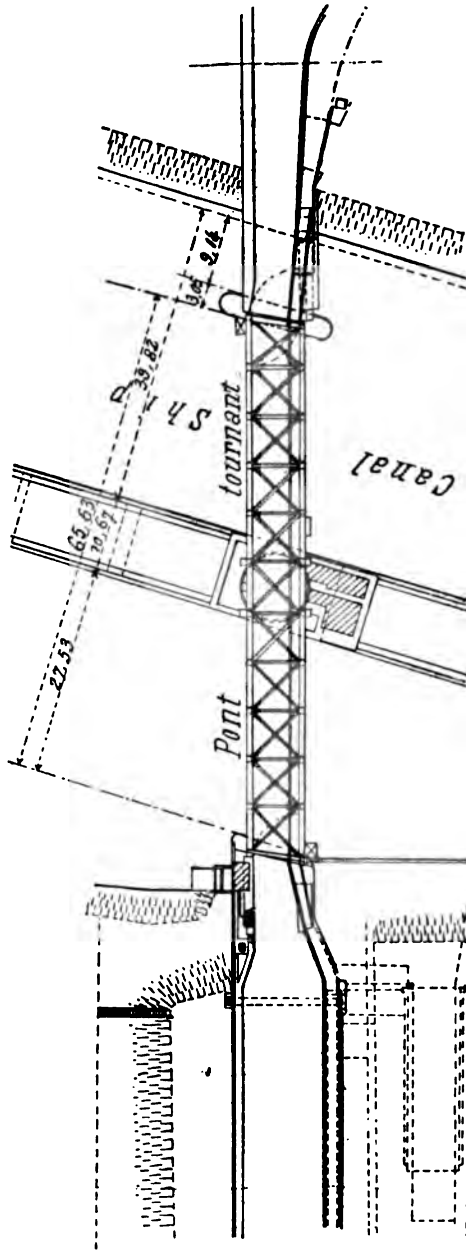


Fig. 364. — Canal de Manchester. — Aqueduc tournant de Barton.

De grandes difficultés étaient inévitables dans ce travail ; il a fallu des ponts mobiles pour les routes et voies ferrées traversées ; des chenaux pour l'écoulement des crues de la Mersey et de l'Irwell, un siphon de 1,50 *m* de diamètre pour assurer le drainage des terrains isolés, etc. Le plus notable de ces travaux accessoires est l'aqueduc tournant établi à Barton pour le passage du canal de Bridgewater, qui croise la nouvelle voie maritime à 8 mètres au-dessus. Cet aqueduc comprend deux travées mobiles de 27,50 *m* chacune, constituant un canal de 5,70 *m* de largeur sur 2 mètres de profondeur ; il pèse, plein d'eau, 1400 tonnes (fig. 364).

Il tourne sur une pile centrale de 120 mètres de longueur et 15 mètres de largeur, qui porte aussi le pont de la route adjacente. Avant de le tourner, on ferme ses extrémités, ainsi que celle

du canal à terre par quatre portes étanches, manœuvrées par l'eau sous pression.

Les bassins établis à Manchester et Salford ont une superficie de 40 hectares ; les quais se développent sur 9 kilomètres, et les terrains disponibles pour le dépôt des marchandises occupent 60 hectares.

Le bassin principal comprend trois branches, larges de 70 mètres ; les traverses qui les séparent ont 80 mètres ; elles portent des hangars de 21 mètres de largeur, situés à 11 mètres de l'arête du quai, ce qui permet l'établissement de deux voies ferrées et de grues mobiles. Les hangars sont séparés par une route de 14,60 *m* de largeur également munie de rails. Toutes les voies ferrées arrivent aux quais par des aiguillages.

Un second bassin avec cinq branches de 36 mètres de largeur est également pourvu de hangars et de voies ferrées (pl. XVII, fig. 2).

Le sol des hangars est à la hauteur de la plateforme des camions et wagons.

Les murs des quais sont en béton. Tout est éclairé à la lumière électrique ; les grues hydrauliques et à vapeur sont mobiles.

La dépense totale a été de 380 millions; elle avait été prévue de 160 millions et a donc été plus que doublée ; mais les dimensions et la nature de nombreux ouvrages ont été modifiées pendant l'exécution.

En 1898, le trafic du canal a été de deux millions de tonnes de charge.

Une des clauses édictées par le Parlement qui ont rendu difficile l'exécution du canal, c'est celle qui ordonnait à la compagnie de laisser s'écouler dans l'estuaire de la Mersey les eaux du Weaver, une rivière que l'on croisait, dans le même temps que si le canal n'existait pas. Ce problème n'a pu être résolu que par l'emploi des écluses Stoney, qui se distinguent par la facilité avec laquelle se manœuvrent leurs vannes.

Les vannes ordinaires ont leur face d'aval appliquée fortement contre la surface d'appui et il est difficile de les mouvoir. Dans les écluses Stoney, des rouleaux sont interposés entre les deux surfaces ; ils ne sont fixés sur aucune d'elles, mais sont portés sur un châssis mobile qui suit les mouvements de la porte. Les rouleaux roulent donc simplement sur les faces, et comme ce sont eux qui supportent la pression, la force nécessaire à la manœuvre n'est qu'une fraction très minime de celle qu'eût exigée le système ordinaire. Un seul homme peut manœuvrer une vanne de 9 mètres de largeur, supportant 8 mètres d'eau.

L'étanchéité est obtenue à l'extrémité de la vanne comme suit : Elle se meut librement entre des guides verticaux, les surfaces de contact bien dressées. Une tige tournée est pressée par l'eau contre la jonction et constitue un joint parfaitement étanche.

Sur le parcours du canal il y a trente-trois de ces écluses. A l'embouchure du Weaver, on en a placé un groupe de dix, de 9 mètres de largeur. Chacune d'elles peut supporter une pression de 120 tonnes et pèse 18 tonnes.

A marée basse, on les ferme presque entièrement, de manière à conserver au canal sa profondeur. A marée haute et pendant les crues, leur ouverture assure l'évacuation.

Les vannes s'ouvrent et se ferment aisément au milieu du courant.

CANAL DE L'EMPEREUR GUILLAUME

Ce canal, dont l'importance commerciale se développera certainement beaucoup, est surtout un travail stratégique destiné à permettre la jonction des escadres allemandes de la Baltique et de la mer du Nord, sans passer par le Sund. Il commence à Holtenau dans la rade de Kiel (Baltique) et se termine à Brunsbüttel, dans l'estuaire de l'Elbe (mer du Nord). C'est en ce point que les profondeurs sont les moindres, mais elles ne sont néanmoins pas inférieures à 9 mètres à marée basse. La longueur du canal est de 94 kilomètres ; on a dû établir des écluses à chaque extrémité, à cause des marées de la mer du Nord et des dénivellations produites par le vent dans la Baltique.

Les dimensions de chacun des sas sont :

Longueur, 150 mètres ; largeur, 25 mètres ; profondeur, 9,50 *m*.

La forme en plan du canal comporte un certain nombre de courbes, parce qu'on a utilisé autant que possible les dépressions du terrain ; leurs rayons varient de 1 000 à 3 000 mètres.

La section du canal a les dimensions suivantes :

Largeur au plafond, 22 mètres ; à la ligne d'eau, 60 mètres ; profondeur, 9 mètres.

Aux courbes, la largeur est augmentée d'après la formule $\left(26 - \frac{r}{100}\right)$, qui donne 16 mètres en plus aux courbes de 1 000 mètres. Dans ces conditions, deux des navires ordinaires qui font le commerce de la Baltique

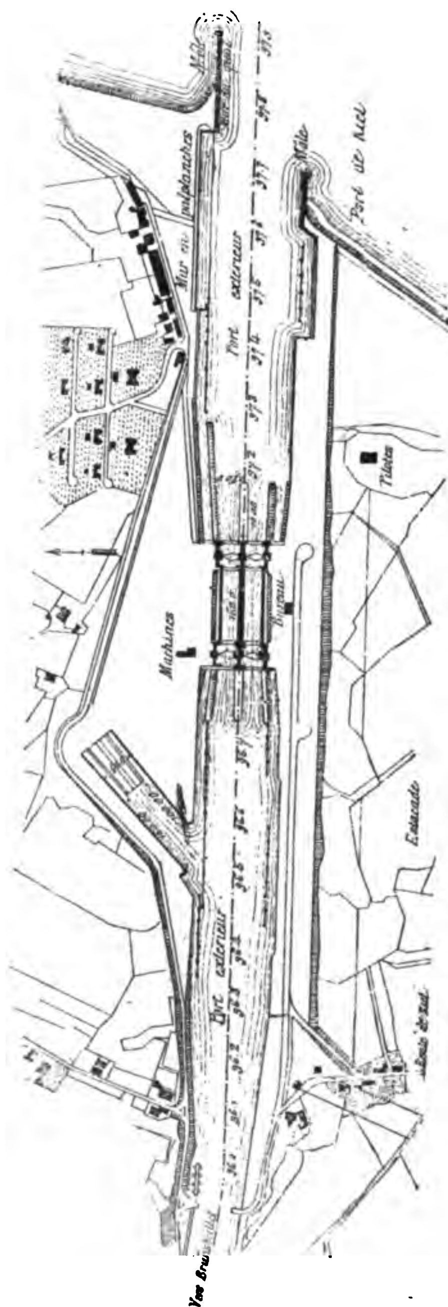
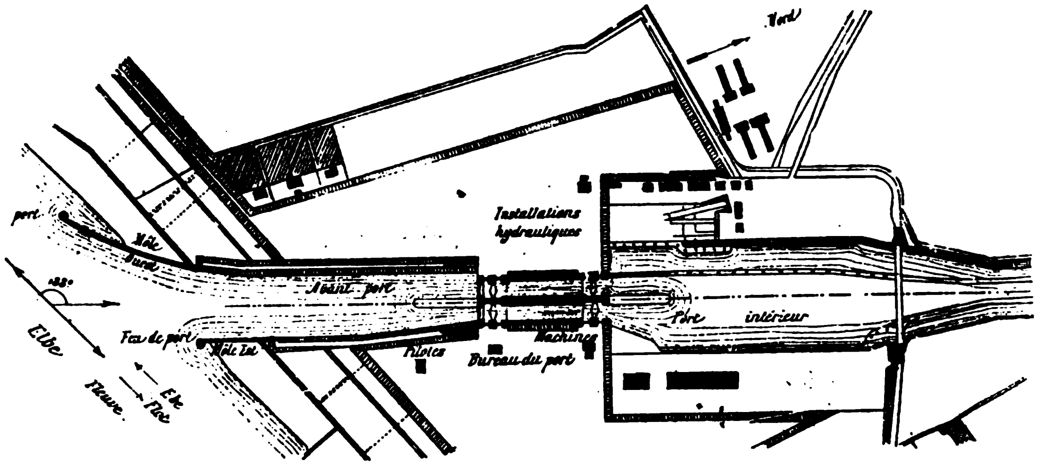


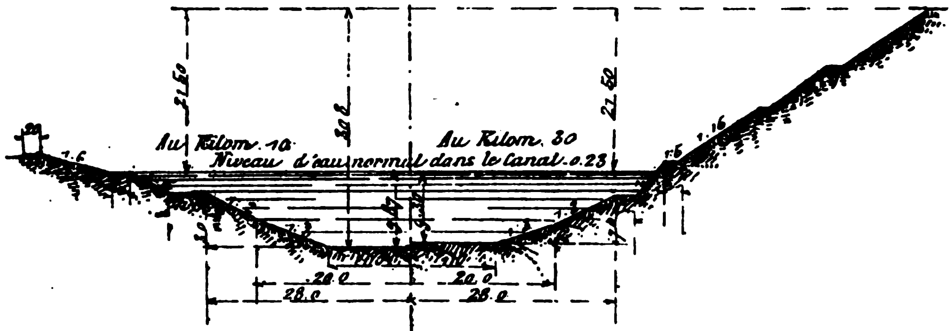
Fig. 366. — Canal de l'Empereur Guillaume. — Entrée à Holtenau.



Fig. 365. — Canal de l'Empereur Guillaume. — Plan général.



Entrée à Brunsbüttel.



Coupe générale du canal.

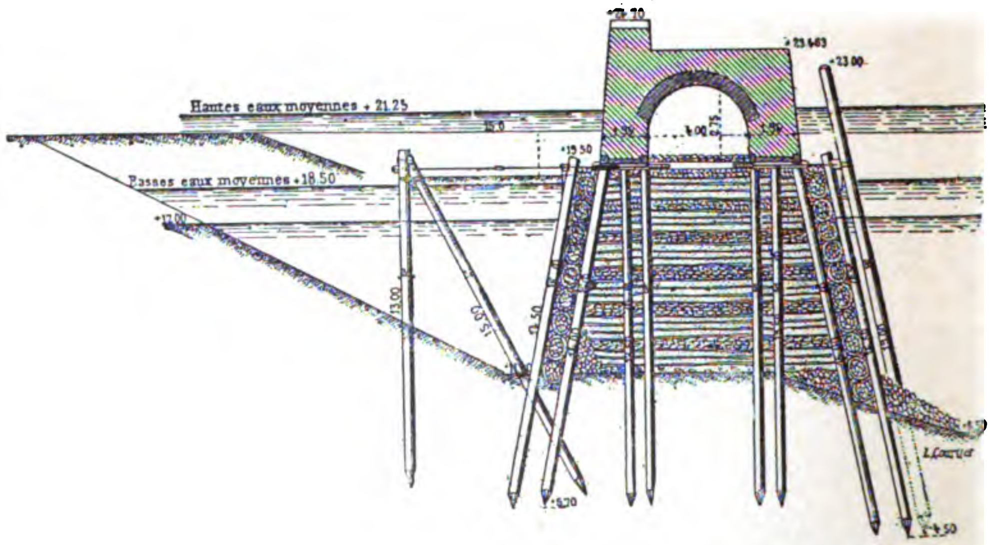


Fig. 367. — Canal de l'Empereur Guillaume. — Profil des môles.

(12 mètres de largeur et 6 mètres de tirant d'eau) peuvent croiser ; on a de plus ménagé six gares de 250 mètres de longueur et 60 mètres de largeur au plafond.

Le canal est coupé par un certain nombre de routes et de voies ferrées qui le traversent sur des ponts mobiles ou des ponts fixes, quand la hauteur le permet. Celui de Levensau est d'une seule arche de 163,40 *m* de portée.

L'évitement des grands navires a lieu dans les gares espacées de 2 kilomètres, ayant 450 mètres de longueur et 60 mètres de largeur au plafond ; ils croiseront facilement aussi dans les lacs intérieurs que rencontre le canal et dans les bassins ménagés près de chaque écluse.

Le canal traverse des marais tourbeux très fluents, où les berges ne pouvaient se maintenir; on l'a limité par des levées en sable extrait d'autres parties de la fouille. Le procédé employé a été à peu près celui mis en œuvre au quai d'Handelskade à Amsterdam. Le terrain vaseux était amélioré par l'entassement de sable qui y pénètrait jusqu'à la couche solide inférieure, sablonneuse elle-même. Le massif ainsi déposé se tenait sous un angle voisin de son talus naturel et l'on pouvait exécuter la fouille entre les deux levées artificielles. Le sable était apporté par des wagonnets roulant sur une voie étroite portée par une couche plus ou moins épaisse de sable d'abord versée avec précaution ; si le terrain était trop mauvais, on établissait les rails sur des pilotis. Enfin dans les sols tout à fait fluents, le sable était refoulé par une drague dans une conduite fermée munie de flotteurs.

En 1898 le canal a été traversé par 23 108 navires de tout tonnage jaugeant deux millions et demi de tonneaux dont 9 400 vapeurs et 13 700 petits navires.

CANAL D'AMSTERDAM

L'accès d'Amsterdam n'avait autrefois lieu que par le Zuyderzée, dont les passes n'ont que 2 à 3 mètres de profondeur ; aussi dut-on plus tard construire le canal de Nord-Hollande, qui relie Amsterdam à Nieuwe-Diep, sur une longueur de 84 kilomètres, et avec une profondeur de 5,70 *m*.

Ces conditions ne pouvant convenir à la navigation moderne, on a creusé le canal d'Amsterdam qui joint cette ville à la mer du Nord sur une longueur de 25 kilomètres.

Le canal part du port d'Ijmuiden, qui est l'objet d'une description spéciale dans cet ouvrage, passe à Velsen et se dirige vers Amsterdam à travers le lac Y. Il a 60 mètres de largeur à la ligne d'eau, 27 mètres au plafond et 7 mètres de profondeur; les talus sont inclinés à 2 pour 1.

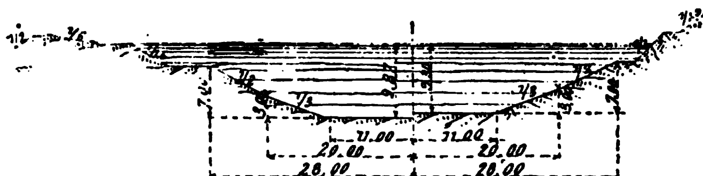


Fig. 368 — Canal d'Amsterdam. — Profil général.

Dans la traversée du lac les talus atteignent 4 pour 1 dans les parties remblayées, et une risberme de 30 mètres de chaque côté est établie au niveau de l'eau, pour protéger le pied des digues qu'on ménage le long du canal.

Au delà d'Amsterdam, le lac Y est séparé du Zuyderzée par un barrage de 1 340 mètres de longueur, ayant 40 mètres de largeur à la base et formé de fascinages recouverts par des déblais.

A l'extrémité nord de ce barrage sont trois écluses, l'une ayant 93 mètres de longueur sur 21,75 *m* de largeur, les deux autres 73 mètres sur 10,50 *m*. Ces écluses ne sont destinées qu'au passage des petits bateaux qui fréquentent le Zuyderzée.

Le canal, à 1 100 mètres du pont d'Ijmuiden, était également fermé par deux écluses ayant l'une 120 × 19 mètres et l'autre 60 × 12,50 *m*. On en a récemment construit une troisième décrite dans un précédent chapitre.

Les écluses sont fermées par cinq paires de portes, trois du côté de la mer et deux intérieures. La raison de cette disposition a été déjà indiquée.

Au sud du canal, près de l'entrée, a été établi un bassin de marée pour les bateaux de pêche.

La largeur et la profondeur seront incessamment augmentées par de nouveaux dragages.

CANAL DE CORINTHE

Le canal qui coupe l'isthme de Corinthe est rectiligne; sa longueur est de 6 350 mètres; la largeur au plafond est de 22 mètres, la profondeur 8 mètres.

Le sol très tourmenté, et où se rencontraient des argiles bleuâtres qui se diluaient au contact de l'eau, a exigé de grand travaux de revêtement. La tranchée atteint jusqu'à une hauteur de 87 mètres vers le milieu de la longueur du canal ; mais là le roc a permis une inclinaison de 70°.



Fig. 369. — Coupe du canal de Corinthe.

L'entrée ouest, à Poseidonia, est protégée par deux môles convergents ; celle de l'est n'est abritée que par un môle, au nord ; ils sont exécutés en enrochements ordinaires.

L'absence de marée a permis l'ouverture du canal sans écluses.

CANAL DE CHICAGO.

Le canal de Chicago a été creusé comme égout de la ville qui, jusqu'à présent jetait ses eaux vannes dans le lac Michigan, où elle prenait aussi son eau d'alimentation. Comme il se déverse dans le Mississipi, il sera utilisé également comme voie maritime.



Fig. 370. — Coupe du canal de Chicago.

Les géologues américains sont d'accord sur ce fait que les grands lacs du nord se vidaient jadis dans le golfe du Mexique, qui s'étendait alors dans le bassin actuel du Mississipi.

Ce fut à une époque relativement récente que les eaux cherchèrent une sortie au golfe de Saint-Laurent. Mais la dépression de leur ancien émissaire existe encore et c'est par là que s'écoule la rivière Desplaines ; c'est là aussi que se construisit l'ancien canal de l'Illinois au lac Michigan.

Le nouveau canal a 50 kilomètres de longueur. La figure 370 donne son profil général, mais il varie selon les circonstances.

L'exécution de ce canal a donné lieu à de sérieux progrès dans les machines excavatrices et surtout transporteuses.

CHAPITRE XXXIV

PRINCIPAUX PORTS

DUNKERQUE (pl. I, fig. 1).

Le port de Dunkerque était primitivement constitué par l'exutoire oriental du delta de l'Aa. A maintes reprises les travaux exécutés pour son amélioration ont dû être détruits par suite des exigences de l'Angleterre; ce n'est que depuis 1783 que le port a pu être définitivement établi.

Jusqu'à ces dernières années, il ne comprenait en dehors d'un avant-port très étroit que trois bassins à flot dits du Commerce, de la Marine et de l'Arrière-Port. C'est seulement lorsque les dragages eurent démontré la possibilité d'assurer à Dunkerque un avenir prospère, par suite de l'obtention de grandes profondeurs dans la rade et le chenal, que la construction d'un vaste ensemble a été résolu.

Le chenal a 130 mètres de largeur. Il est délimité par deux jetées dont celle de l'est, récemment reconstruite par l'air comprimé, a été décrite (II, page 46).

Le chenal, long de 750 mètres, est continué par un avant-port dont la longueur est de 1 kilomètre 1/2 et la plus grande largeur ne dépasse guère 200 mètres. A son extrémité il communique par deux écluses, dites de la Citadelle et du Barrage, avec le bassin du Commerce, long de 500 mètres et large de 110 mètres en moyenne. La première des écluses a un sas de 50 mètres sur 13; la seconde, simple, a 21 mètres de largeur.

Le bassin du Commerce, à son extrémité, communique avec celui de la Marine par une écluse simple de 16 mètres de largeur et avec celui de l'Arrière-Port par une écluse à sas de 33 mètres de longueur sur 8,12 *m* de largeur.

Le bassin de la Marine a 300×100 mètres; celui de l'Arrière-Port 300×80 mètres.

Le développement des quais est de 845 mètres au premier bassin, 800 mètres au second, 125 au troisième. La hauteur d'eau sur les seuils est de 5,20 à 6,35 *m* dans les trois premières écluses et seulement de 2,30 *m* à la dernière, qui ne sert qu'à la batellerie.

Le véritable port de Dunkerque consiste dans les nouveaux bassins de Freycinet, composés de deux surfaces d'eau divisées en quatre darses, larges chacune de 90 mètres, par des traverses dont la largeur est de 180 mètres. Ces bassins communiquent avec l'avant-port par deux écluses. Celle de l'ouest a 21 mètres de largeur et un sas de 129 mètres, divisible en deux portions de 77 et 52 mètres; le seuil est à la cote — 2 mètres et est recouvert d'une profondeur de 6,45 à 7,45 *m* en pleine eau. Celle du nord ou écluse Trystram, de 170 mètres de sas, a 25 mètres de largeur et 5 mètres d'eau en basses mers sur le seuil.

Dunkerque possède quatre formes de radoub : la plus petite a 80 mètres de longueur, deux ont 109 et la grande 190 mètres. Celle-ci peut être épuisée en trois heures et demie.

Le développement des quais est de 8 430 mètres; il s'y trouve 24 grues de 1 500 à 3 000 kilogrammes. L'outillage comprend en outre une grue flottante de 40 tonnes.

Sept hangars couvrent une superficie de 23 000 mètres carrés.

Outre plusieurs magasins généraux, il existe un entrepôt réel des sucres, récemment construit, capable de contenir 26 000 balles.

CALAIS (pl. I, fig. 2).

Le port de Calais a été creusé dans les lagunes ou wateringues qui bordaient autrefois la côte et avaient en cet endroit leur principal émissaire. Jusqu'à ces dernières années il ne comprenait qu'un port d'échouage de 650 × 70 mètres et un bassin à flot, desservi par une écluse simple de 17 mètres de largeur et mesurant 255 × 75 mètres. La longueur des quais accostables était de 1 700 mètres dans le port d'échouage et de 545 mètres dans le bassin à flot, dont le mouillage était de 5 mètres.

Aujourd'hui le port de Calais comprend en outre :

Un chenal rectiligne de 125 mètres de largeur; la jetée de l'ouest dépasse l'autre de 70 mètres. Le chenal se termine dans un avant-port de 350 × 160 mètres où est installé l'embarcadère des paquebots d'Angleterre ;

La longueur des quais disponibles est de 815 mètres ;

Un nouveau bassin à flot de 750 × 130 mètres, avec 1 800 mètres de quais $\left(\text{rapport } \frac{1}{180}\right)$. La profondeur d'eau y est de 7,50 *m*; il se termine par un arrière-bassin de 200 × 70 mètres et communique également avec un bassin de batellerie de 45 mètres de largeur, ayant 2 000 mètres de quais et relié avec les divers canaux qui se terminent à Calais.

Le bassin à flot est relié avec l'avant-port par deux écluses juxtaposées à sas de 132 mètres de longueur, ayant l'une 14, l'autre 21 mètres de largeur et leur busc à la cote — 2,50 *m*.

Une forme de radoub de 104 × 21 mètres complète cette installation.

Les terres-pleins, pavés, ont une largeur de 100 mètres à l'ouest et 160 mètres à l'est. Un hangar continu de 530 × 53 mètres est établi sur le quai ouest. Du même côté, le quai de l'avant-port est couvert sur 7 000 mètres carrés.

Les manœuvres sont faites par l'eau sous pression; l'outillage comprend 12 grues roulantes de 1 500 kilogrammes, 6 treuils mobiles de 750 kilogrammes et une grue fixe de 40 tonnes.

Le nouveau bassin des chasses de 100 hectares écoule ses eaux dans le chenal par cinq pertuis de 6 mètres de largeur chacun.

Le chenal et l'avant-port sont creusés à la cote — 3,75 *m* et offrent 8,85 et 10,75 *m* de profondeur aux hautes mers de morte eau et vive eau.

BOULOGNE (pl. I, fig. 4).

Le port de Boulogne s'est développé dans l'estuaire de la Liane. Deux jetées, l'une de 700 mètres, l'autre de 519 mètres de longueur délimitent un chenal courbe de 70 mètres de largeur, qui aboutit à un port d'échouage de 900 mètres de longueur, où a été draguée une souille le long d'un quai de marée pour les paquebots de Folkestone.

L'avant-port communique par une écluse à sas de 100 × 21 mètres avec un bassin à flot de 390 × 190 mètres ou 7 hectares. Le développement des quais est de 1 043 mètres $\left(\text{rapport } \frac{1}{160}\right)$ avec des terre-pleins de 20 à 24 mètres de largeur.

Il existe encore un arrière-port de 220 × 110 mètres, qui reçoit l'eau d'un bassin de chasse de 60 hectares.

L'outillage est très restreint : une vingtaine de grues, à bras ou à vapeur.

On avait projeté devant Boulogne un port en eau profonde, qui aurait été limité par deux môles et une digue. Seul le môle du sud-ouest, qui a reçu le nom de Carnot, a été construit sur une longueur de 1500 mètres, au lieu des deux kilomètres prévus.

Cet avant-port devait avoir une superficie de 300 hectares, avec des profondeurs de 9 mètres. Les travaux ont été arrêtés, malgré les incessantes réclamations de la Chambre de Commerce de la ville. Le môle Carnot a eu pour effet de protéger l'entrée de l'ancien port. Des navires peuvent même mouiller dans le coude abrité, mais des dragages seraient nécessaires pour assurer les profondeurs voulues. Il est probable que quelque jour l'œuvre sera achevée. L'intérêt est en considérable.

DIEPPE (pl. I, fig. 3).

Le port de Dieppe s'est formé dans l'estuaire de l'Arques et de la Béthune.

Un chenal de 75 mètres de largeur aboutit à un avant-port courbe de 425 × 100 mètres, de 6 hectares 1/2 de superficie et présentant un développement de quais de 1 018 mètres. Il communique à son extrémité avec le bassin Duquesne (375 × 75 à 155 mètres) par une écluse simple de 16,50 *m*. Le bassin, dont la superficie est de 4 hectares, présente une longueur de quais de 811 mètres $\left(\text{rapport } \frac{1}{200}\right)$. Une seconde écluse, de 14 mètres, donne accès au bassin Bérigny (325 × 120 mètres). Superficie : 3,5 *ha*. Développement des quais : 940 mètres $\left(\text{rapport } \frac{1}{270}\right)$ Le tirant d'eau de ces bassins est de 7,20 à 7,50 *m* ; mais l'écluse Duquesne n'offre que 5,50 *m* d'eau en morte eau.

Un deuxième avant-port, relié à l'ancien par un canal de 40 mètres de largeur, a été creusé au Pollet, faubourg de Dieppe ; sa superficie est de 4 hectares. Il donne accès, par une écluse de 18 mètres à un bassin de mi-marée de 150 × 100 mètres où la pleine mer de morte eau a une profondeur de 7,40 *m*.

Une écluse pareille à la première réunit les bassins à flot et de mi-marée. Le premier a (300 × 110 mètres).

Une cale de radoub est établie dans le nouvel avant-port.

LE HAVRE (pl. III, fig. 5).

Le port du Havre a été commencé sous François I[er] par l'amiral Bonnivet. Le site avait été naturellement désigné par un chenal qui évacuait les nombreuses petites criques intérieures.

Dès 1520 les navires y entraient et en 1535 on commença la jetée du nord, destinée à arrêter l'invasion des galets; dans le même but furent installées les écluses de chasse du Perrey.

Le bassin du Roi, creusé en 1628, fut réparé et muni d'une double paire de portes en 1667. Longtemps il constitua seul avec l'avant-port les moyens d'abri du Havre. Ce n'est qu'en 1820 que furent livrés les bassins de la Barre et du Commerce. Mais à partir de ce moment les progrès sont incessants et de nouveaux bassins ont été ouverts : Vauban (1843), la Floride (1847), l'Eure (1855), Bassin-Dock (1859), la Citadelle (1871), Bellot (1889).

Il est difficile de décrire l'état actuel du Havre, car une partie des ouvrages existants sont appelés à disparaître dans un bref délai.

Quand les nouveaux travaux seront terminés, le port sera constitué comme suit :

L'entrée, de 200 mètres de largeur, sera reportée à 700 mètres environ au delà du musoir de la jetée nord actuelle. Elle sera accessible par deux passes dirigées l'une vers l'ouest, l'autre vers le sud-ouest; la première, la principale, sera draguée à la cote — 5 mètres et les grands navires y trouveront toujours plus de neuf mètres d'eau pendant six heures à toute marée. La passe du sud-ouest n'offrira que 2,50 *m* de profondeur à basse mer, elle est destinée aux bâtiments qui du Havre se dirigent vers Trouville, Honfleur et l'amont de la Seine.

La passe de l'ouest conduira presque en ligne droite dans l'avant-port; les navires, plus petits, qui aborderont par l'autre passe n'y rencontreront que des courbes de grand rayon. Il est à noter que ce passage, creusé à moins grande profondeur que l'autre, aura pourtant 50 *cm* de plus de mouillage que la route actuelle.

L'entrée donne accès à un avant-port, de 1 kilomètre 1/2 de longueur, limité par deux môles convergents, presque normaux l'un à l'autre, et

ayant l'un 550, l'autre 625 mètres de longueur. Celui du nord est courbe, l'autre est rectiligne sur sa branche extrême. L'avant-port offre une forme insolite, due d'une part à la recherche d'un élargissement destiné à l'amortissement des vagues, de l'autre aux exigences du terrain. Dans sa plus grande largeur, qui se trouve à 400 mètres environ de l'entrée, il mesure 600 mètres.

Après un rétrécissement à 225 mètres environ, il s'élargit encore à plus de 350 mètres; il y a lieu d'espérer que la réduction des vagues atteindra environ $\frac{1}{4}$, d'autant qu'en outre de l'effet des deux élargissements successifs, d'une part la houle ira s'éteindre sur le rivage devant l'établissement de Frascati, qui sera conservé avec son talus naturel, d'autre part le môle sud se raccordera à sa racine avec un batardeau dont la crête, surmontée d'une estacade et offrant un talus très faible, servira d'une sorte de brise-lames.

Le batardeau est destiné d'ailleurs à disparaître dans l'avenir, car il marque l'entrée de nouveaux bassins à conquérir sur le fleuve pour l'extension future du port.

A la suite de ce batardeau sera édifié un quai de 400 mètres de longueur, à fondations profondes; à son pied une souille permettra aux navires d'escale, qui n'entreront pas dans les bassins, de rester toujours à flot. Là aussi viendront s'amarrer les transatlantiques, la veille de leur départ, pour partir à heure aussi fixe que possible, dès que la passe leur assurera un tirant d'eau suffisant.

A la suite du quai de marée s'ouvrira une écluse à sas de 225 mètres de longueur et 30 mètres de largeur, dont l'axe se trouvera dans le prolongement de celui de l'entrée. Les transatlantiques y passeront pour pénétrer dans le bassin de l'Eure, évitant ainsi la manœuvre longue et pénible qu'ils opèrent aujourd'hui.

Ainsi qu'on le voit, le bassin actuel de la Floride qui a 2,20 *ha* de superficie est supprimé.

Le tableau suivant indique les dimensions des bassins existants :

Dimensions des Bassins existants :

	du Roi	de la Barre	du Commerce	Vauban	Eure	Dock	Citadelle	Bellot
Longueur, *m* . . .	160	450	562	817	940	555	Darse Nord 340 » Sud 210	Darse Ouest 440 » Est 505
Largeur, *m*. . . .	35-110	84-245	96	100	200-362	80	» Nord 110 » Sud 80	220
Superficie, *ha* . . .	1, 20	5, 20	5, 50	7, 50	21, 30	4, 40	6	21, 25
Développement des quais accostables, *m*	400	1100	1235	1730	1940	1180	1165	2665
Surface des terre-pleins, m^2 . . .	3900	30000	27000	43000	73300	24000	41000	250000

Les bassins du Roi, de la Barre, de l'Eure et de la Citadelle communiquent directement avec l'avant-port par les écluses Notre-Dame, de la Barre, des transatlantiques et du sas éclusé. Le bassin de l'Eure sera encore accessible par la nouvelle écluse. Les bassins communiquent entre eux et avec les autres par les écluses Lamblardie (bassins du Roi et du Commerce), d'Angoulême (bassins du Commerce et de la Barre), Vauban (bassin de la Barre et Vauban), de l'Eure (bassin Vauban et de l'Eure), du Dock (bassin de l'Eure et bassin Dock), Bellot (bassin de l'Eure et Bellot). Les deux darses du bassin Bellot communiquent par le pertuis Chevallier.

Vu la longue durée de l'étale au Havre, les écluses à sas y ont été jugées inutiles; il n'en existe qu'un, au bassin de la Citadelle, et qui est un petit bassin de mi-marée de 80 mètres de longueur sur 55 mètres de largeur.

Voici les largeurs L de ces écluses et la hauteur H de l'eau sur leurs seuils en pleine mer de morte eau.

	Notre-Dame	Eure	Dock	Citadelle	La Barre	Lamblardie	Angoulême	Vauban	Transatlantiques	Bellot-Chevallier
L. .	16	16	16	16	13, 64	13, 64	13, 64	12	30, 50	30
H. .	5	5	5, 40	5, 50	5	4, 60	4, 80	4, 60	8, 70	8, 50

Les écluses de marée ne sont pourvues que d'une seule paire de portes d'ebbe, sauf celle des transatlantiques qui en a deux.

La largeur des terre-pleins n'est que de 20 à 25 mètres autour des anciens bassins; elle est de 50 à 60 mètres aux nouveaux. Aux darses Bellot elle est de 89 mètres au nord et 125 mètres au sud. La surface totale des bassins à flot atteint 72 hectares et le développement des quais 11 400 mètres, rapport général $\frac{1}{160}$. Le rendement moyen des quais a été de 315 tonnes en 1898; il est très variable et atteint 1200 tonnes sur l'un des quais du bassin du Roi.

La superficie des hangars s'est beaucoup accrue durant ces dernières années et va encore augmenter; il est donc inutile de donner des chiffres

qui ne seront bientôt plus exacts. Elle dépasse 100 000 mètres carrés.

L'outillage, assez rudimentaire il y a vingt ans, s'est développé ; l'installation hydraulique dessert le bassin Bellot et un certain nombre de grues électriques sont en service, ainsi qu'une bigue de 100 tonnes.

Il existe six formes de radoub, dont les longueurs sont :

45, 55, 70, 130, 150, 115 mètres.

La quatrième, de 130 mètres, va être allongée à près de 200 mètres ; sa largeur est de 30 mètres ; trois nouvelles sont prévues.

L'entretien des bassins du Havre se fait par dragages et nécessite une dépense annuelle de 200 000 francs. Malheureusement, dans plusieurs bassins, les fondations des murs de quai n'ont pas été descendues assez bas, et l'on ne peut draguer trop près. Les navires sont souvent obligés de ne pas accoster, et les manutentions sont coûteuses.

Les nouveaux travaux, bien qu'il semble qu'une meilleure solution eût été possible, constitueront un progrès ; il valent mieux en tout cas que les plans de 1887 auxquels nous avions fait des critiques qui sont évitées dans le projet actuel. Mais il y a encore bien des conditions à remplir pour permettre au Havre de lutter contre ses concurrents septentrionaux.

Elles exigent une conception toute différente des travaux à exécuter.

Les accessoires du port du Havre comprennent :

Six bassins de radoub dont la longueur va de 63 à 171 mètres.

38 kilomètres de voies ferrées, sans compter la gare maritime.

100 000 mètres carrés de hangars.

400 000 mètres carrés de magasins et cours couvertes.

Un parc à bestiaux de 2 000 mètres carrés.

4 treuils hydrauliques mobiles.

30 grues hydrauliques mobiles de 1 250 à 3 000 *kg*.

5 » à vapeur mobiles de 1 500 *kg*.

8 » à vapeur flottantes de 1,25 1 10 *t*.

1 Bigue trépied de 120 *t*.

Les Compagnies particulières ont en outre leurs appareils spéciaux.

Le service contre l'incendie est assuré par deux pompes à vapeur et deux bateaux-pompes.

Au dernier moment, nous apprenons que la disposition des môles d'abri de l'avant-port est quelque peu modifiée, avec raison. Néan-

moins il y a lieu de craindre encore un certain ressac devant l'entrée du bassin de marée. Quelques changements pourraient remédier à ces inconvénients et il est probable qu'ils seront exécutés au cours des travaux.

SAINT-MALO. — SAINT-SERVAN (pl. I, fig. 7).

Les villes de Saint-Malo et Saint-Servan possèdent chacune un bassin à flot séparé, dans un ensemble commun qui comprend :

Le môle des Noires, courbe, de 275 mètres de longueur, derrière lequel s'ouvre le port de marée (800×100 à 250 mètres.) A chacune des extrémités, une écluse à sas (80×18 mètres) donne accès aux bassins à flot des deux villes.

Le bassin de Saint-Servan a 600 × 200 mètres ; l'autre mesure 950 mètres de longueur et est composé de deux parties en équerre, inégales, dont l'une a 130 et l'autre 170 mètres de largeur.

Entre les deux se trouve un *bassin de réduction*, construit en vue de diminuer la vitesse des courants à l'entrée du bassin intérieur.

SAINT-NAZAIRE (pl. I, fig. 8).

Saint-Nazaire est une ville moderne. Les travaux de son port n'ont été commencés qu'en 1848. A peine le premier bassin (dit de Saint-Nazaire) venait-il d'être ouvert à la navigation en 1856, qu'on en reconnut l'insuffisance ; le bassin de Penhouët a été terminé en 1881.

La petite rade devant Saint-Nazaire, à l'entrée de la Loire, a 1 500 mètres de longueur sur 400 mètres de largeur et sa profondeur atteint jusqu'à 15 mètres ; très sûre elle est encore protégée par un vieux môle de maçonnerie de 180 mètres de longueur. Les navires peuvent mouiller très près des jetées, à portée des aussières de halage.

Le bassin rectangulaire de Saint-Nazaire (580 sur 160 mètres) communiquait avec la rade par un chenal courbe vers le sud, de 230 mètres de longueur ; la largeur était de 64 mètres sur les trois quarts intérieurs, et s'évasait jusqu'à 195 mètres entre les musoirs. Du chenal on passait au bassin par deux écluses établies dans l'un des grands côtés du rectangle ; l'une simple de 25 mètres de largeur ; l'autre de 13 mètres de largeur, avec un sas de 60 mètres de long. Aux pleines mers de morte eau, on n'avait que 7,30 *m* de hauteur d'eau sur le seuil de la grande écluse et 6,10 *m* sur celui de l'autre.

Ces conditions, suffisantes pour l'époque de la construction, ne le sont plus aujourd'hui. De plus, le dragage de la barre des Charpentiers à la cote — 5 mètres permet le passage de plus grands navires ; on va construire une nouvelle entrée au sud et dans l'axe des bassins, large de 25 mètres, avec un sas utile de 220 mètres. Elle est précédée d'un avant-port protégé par deux môles convergents.

La superficie du bassin est de 9,28 *ha*, et le développement des quais est de 1 579 mètres, ce qui fait 1 mètre de quai pour 60 mètres carrés de superficie.

Le bassin de Penhouët ne communique pas avec la rade ; les navires sont obligés de passer par le bassin de Saint-Nazaire pour y accéder ; entre les deux bassins se trouve une écluse à sas de 218 mètres de longueur et 25 mètres de largeur, avec le seuil à la même hauteur que celui de la grande écluse déjà décrite. Les portes intérieures sont distantes de 150 mètres ; tous les vantaux sont métalliques.

Leur manœuvre a lieu au moyen de treuils hydrauliques mus séparément par des appareils rotatifs Brotherhood et pouvant être actionnés à la main, en cas d'accidents. Il y a en outre 4 cabestans hydrauliques pour le halage des navires, 4 vannes hydrauliques et un pont roulant.

La machinerie se compose de deux pompes foulantes de 25 chevaux, fournissant chacune à la seconde trois litres d'eau comprimée à 50 atmosphères ; l'accumulateur contient 650 litres ; les cabestans développent chacun sur le brin de l'aussière une force de 2 500 kilogrammes.

La manœuvre des portes d'écluse dure 2 minutes et celle du pont roulant 4 minutes.

Le bassin de Penhouët, construit derrière une digue de ceinture, a 1 100 mètres de longueur ; la largeur est de 230 mètres : mais elle est réduite au milieu à 160 mètres, par un terre-plein qui gagne sur l'étendue d'eau. La superficie est de 22 hectares et demi, et la profondeur de 8 mètres ; la longueur de quais utilisables est de 2 145 mètres.

Les deux bassins ont les accessoires ordinaires, escaliers, échelles, organeaux et canons d'amarrage espacés les uns et les autres de 35 à 40 mètres, et les becs de gaz de 50 mètres.

L'entretien du chenal devait se faire par des chasses et un dispositif très ingénieux avait été, dans ce but, installé pour utiliser le trop plein d'eau du bassin de Saint-Nazaire ; mais cette quantité (150 000 mètres cubes) a été reconnue insuffisante, et l'on a abandonné l'usage des chasses.

Dans les chambres des portes, on se sert exclusivement de petites pelles-dragues mues à l'aide d'un treuil à main fixé sur un ponton.

Dans le chenal et le bassin, on emploie trois bateaux pompeurs ; dans le bassin on se sert de plus d'une drague à échelles de 16 chevaux.

L'envasement, qui atteindrait annuellement près de 1,20 *m* de hauteur est ainsi victorieusement combattu.

Dans le bassin de Penhouët, il n'y a jusqu'ici qu'un envasement presque insignifiant, par suite du mode d'alimentation spécial usité et qui consiste à ne prendre, par une coupure pratiquée dans le quai qui borde le fleuve, que l'eau de la partie supérieure, beaucoup moins chargée de sédiments,

Au bassin de Saint-Nazaire, les terre-pleins ont environ, tout compris 35 mètres de largeur ; à Penhouët, 50. Mais en outre, autour du premier, il y a environ 7 hectares utilisables pour les besoins des manutentions, et autour du second, plus de 20 hectares. Partout, les voies ferrées desservent largement les quais.

Les appareils de déchargement sont les suivants :

Une bigue en tôle de 60 tonnes appartenant aux Transatlantiques, un trépied oscillant de 45 tonnes à l'Etat, une grue fixe à bras de 55 tonnes, une autre de 10 tonnes, une de 8 tonnes, une de 1 tonne et demie, 12 grues à vapeur mobiles de 1 tonne et demie, 4 grues roulantes à bras d'une tonne et 8 grues à vapeur sur pontons variant de 1 à 4 tonnes. De plus, la Chambre de Commerce de Saint-Nazaire établit autour du bassin Penhouët des hangars d'abri, des grues et des cabestans hydrauliques.

Le bassin de Penhouët est doté de trois formes de radoub ayant les dimensions suivantes :

	N° 1	N° 2	N° 3
Longueur	140 mètres	120 mètres	150 mètres
Largeur	25 »	13 »	18 »
Profondeur du seuil . .	7,30 »	4 »	7,30 »

La première est destinée aux navires de guerre et la dernière aux paquebots Transatlantiques. Ces formes sont fermées par des bateaux-portes.

Il y a 1 mètre de quai pour 104 mètres carrés de surface d'eau.

LA PALLICE (pl. I, fig. 5).

Le port de la Rochelle ne pouvant être rendu accessible aux grands navires, celui de la Pallice a été créé à 5 kilomètres au nord, dans une rade sûre, à fonds immuables, composés d'un rocher nu assez solide pour recevoir les fondations.

Les ouvrages comprennent :

Un avant-port de 12 hectares $\frac{1}{2}$ creusé à la cote — 5 mètres.

Un bassin à flot de 11,60 *ha*, composé de deux rectangles : l'un de 400×208 mètres et l'autre de 300×120 mètres ; il présente 1600 mètres de quais utilisables (rapport : 140 mètres par hectare) et est creusé à la cote — 4 mètres.

Le bassin devait communiquer avec l'avant-port par deux écluses de 22 et 14 mètres de largeur ; de la dernière on n'a construit que des amorces. La grande écluse a un sas de 165 mètres divisible en deux parties de 100 et 50 mètres.

L'avant-port est limité par deux môles qui laissent entre eux une passe de 90 mètres. Le môle sud a 626 mètres et s'avance jusqu'à la courbe des fonds de — 5 mètres : Sur une longueur de 220 mètres à partir de l'enracinement il est discontinu, étant formé de piles en maçonnerie de 2,50 *m* de largeur avec intervalles de 10,36 *m* recouverts de tabliers métalliques de 4 mètres de largeur, formant passerelles pour le halage.

L'un de ces intervalles est recouvert d'un pont roulant ; ce pertuis sert d'entrée à une chambre d'épanouissement de 4 hectares, fait office de brise-lames afin d'empêcher la houle d'atteindre l'écluse. Cette chambre sert de bassin annexe pour les petits bâtiments qui encombreraient inutilement les autres parties du port.

Le môle nord, long de 433 mètres, n'atteint que les fonds de — 2,50 *m*, ce qui laisse l'entrée protégée des vagues ordinaires du sud-Ouest. De sa racine jusqu'aux écluses s'étend un brise-lames de 300 mètres de longueur, qui s'élève de la cote + 1 à la cote 8,56 *m* avec une inclinaison de $\frac{7}{1}$; au pied de ce plan incliné se trouve une banquette de 4 mètres de largeur reliée au fond de l'avant-port par une muraille à $\frac{1}{5}$ de fruit.

Les fouilles étant faites en plein rocher, les murs de quai sont formés d'un simple revêtement en maçonnerie d'un mètre d'épaisseur, pré-

sentant tous les 15 mètres une surépaisseur de 2 mètres sur 2 mètres de longueur. Toutefois une partie du quai ouest, qui traverse une dépression profonde vaseuse, a été fondée par des caissons fixes à air comprimé. De même les maçonneries des formes de radoub se composent de revêtements de 2 mètres.

Celles-ci ont 180 et 115 mètres de longueur de radier, 22 et 14 mètres de largeur d'entrée.

BORDEAUX (pl. I, fig. 6).

La ville de Bordeaux est située principalement sur la rive gauche de la Garonne, à 96 kilomètres de la mer. Le fleuve y décrit une courbe concave large de 4 à 500 mètres. Pendant longtemps les navires ont dû exécuter leurs opérations en pleine rivière au moyen d'allèges. Deux quais verticaux ont été construits en 1856 et 1868 ; leur longueur n'était que de 970 mètres. Un bassin à flot de 10 hectares de superficie avec 1750 mètres de quais (rapport $\frac{1}{175}$) a été livré au commerce en 1879.

Tel était encore l'état des choses en 1883 quand le port, dont le tonnage était de 3 500 000 tonneaux, manipulait 2 340 000 tonnes de marchandises. L'encombrement des quais était tel que chaque mètre de longueur devait suffire à un trafic de 1 220 tonneaux. Le bassin à flot, au contraire, a toujours été peu fréquenté ; à cette époque le rendement annuel du mètre courant de quai n'y était que de 250 tonneaux.

On a depuis lors construit les 1 600 mètres de quais verticaux dont la description a été donnée (II, page 5). Il a été en outre établi 500 mètres d'estacades en bois sur la rive droite.

En outre de la forme de radoub du bassin à flot et d'un petit dock flottant, Bordeaux possède une cale de halage ordinaire et une cale Labat de 125 mètres de longueur.

MARSEILLE (pl. III, fig. 4).

Le port de Marseille remonte à une antiquité très reculée.

Il ne se composa, jusqu'à ces dernières années, que du *Vieux Bassin*, créé par la nature, et qui a 890 mètres de longueur sur 320 mètres de largeur moyenne, soit environ 26 hectares, avec une profondeur

moyenne de 6 mètres. Cette profondeur arrive à 7,50 *m* dans la passe, qui a 70 mètres de largeur et est située au fond de la baie de Marseille.

Le Vieux Bassin a été augmenté de deux ouvrages : du canal des Douanes (6 500 mètres carrés) à la fin du siècle dernier, et du Bassin de Carénage (un hectare et demi) en 1829. Le canal n'a guère que 3 mètres de tirant d'eau et le bassin de Carénage 5 mètres.

La largeur des quais varie de 10 à 40 mètres ; leur développement s'élève à 4500 mètres ; mais il n'y en a guère que 2600 pouvant être accostés et servir aux opérations.

Aujourd'hui le Vieux port est réservé aux voiliers ; mais leur nombre diminuant toujours ne suffit plus à la bonne utilisation du bassin ; on en a donné l'accès aux remorqueurs, aux yachts et aux caboteurs à vapeur.

Dès 1844, le Vieux port était devenu insuffisant ; et la loi du 5 août de cette année ordonnait l'exécution du premier des nouveaux bassins, celui de la Joliette. On y a ajouté depuis les bassins suivants : du Lazaret, d'Arenc, de la Gare Maritime et National. Ces darses, avec leurs dépendances, constituent le Nouveau Port.

Leur établissement a été conçu suivant un plan excellent, et qui a depuis été adopté dans d'autres ports (Brest, Trieste, etc.). A 400 mètres environ de la ligne du littoral, à l'ouest de la ville, on a établi une longue digue parallèle au rivage et qu'on peut allonger à mesure de la construction d'une nouvelle darse. Les bassins sont limités par des *traverses* ou môles partant de terre, et allant rejoindre la digue, tout en laissant des ouvertures, munies de portes mobiles, par lesquelles les darses communiquent entre elles.

La digue, pour rester parallèle au rivage, suit deux alignements ; le premier a une longueur de 1 085 mètres et est orienté du SSO. au NNE. ; le second a 2 508 mètres et court du SE. au NO.

Les 200 premiers mètres au SE. protègent un avant-port, dit avant-port Sud, limité au NO. par la traverse de la Major (30 mètres de largeur), dans laquelle se trouve la passe de 70 mètres qui donne accès au bassin de la Joliette, de 500 mètres de longueur. Puis viennent successivement, en mesurant les longueurs sur la digue :

La traverse de la Joliette (130 mètres de largeur) ;

Le bassin du Lazaret (300 mètres de longueur) ;

Le môle du Lazaret (130 mètres de largeur) ;

Le bassin d'Arenc, trapézoïdal ;
Le môle d'Arenc (130 mètres de largeur) ;
Le bassin de la Gare maritime (366 mètres de longueur) :
La traverse de l'Abattoir (120 mètres de largeur);
Le bassin National (920 mètres de longueur) ;
La traverse de la Pinède (de 80 à 100 mètres de largeur);

La darse de la Joliette, qui communique avec le Vieux port par un canal et un bassin de stationnement, présente une superficie de 22 hectares, un tirant d'eau qui varie de 6 à 12 mètres, à mesure qu'on s'éloigne du rivage, et un développement de quais utilisables de 2 180 mètres.

Les bassins du Lazaret et d'Arenc font réellement partie d'un même ensemble; ils présentent 21 hectares de superficie avec un développement de quais et de môle de même étendue. Le tirant d'eau augmente de 7 mètres jusqu'à 13.

Le bassin de la Gare maritime a une surface de 18 hectares; les quais disponibles ont 2000 mètres; le tirant d'eau va de 6 à 15 mètres.

Le bassin National a 41 hectares; les quais utilisables présentent un développement de 3 760 mètres, grâce à trois éperons saillants qui facilitent beaucoup les opérations. Le tirant d'eau varie de 6 mètres à 20. Ce bassin communique avec l'avant-port Nord par une passe de 105 mètres.

Les avants-ports sont utilisés pour les opérations des navires pendant la belle saison. Une partie de leurs quais peuvent être accostés.

En résumé, les parties abritées présentent environ 175 hectares, avec un développement total de quais de 18 000 mètres, dont 13 000 utilisables.

Un bassin de réparation à flot, de 5 hectares de superficie et de 8 mètres de tirant d'eau, communique avec le bassin National par une passe de 28 mètres, munie d'un pont tournant. Ce bassin donne accès à un autre, de 3 hectares et de 3 mètres de tirant d'eau, pour les réparations sur pontons.

Il contient aussi 6 formes de radoub, ayant les dimensions suivantes :

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6
Longueur.	160	110	90	90	130	130
Largeur	25	25, 70	19	19	16, 60	16, 60
Hauteur d'eau sur tins.	7	6	6	6	6, 60	6, 60

Les formes sèches sont épuisées par deux groupes de machines : au nord, quatre machines donnant 600 chevaux en tout commandent chacune une pompe rotative débitant 660 litres à la seconde ; au sud, trois machines (750 chevaux) avec trois pompes d'un débit de 700 litres chacune.

Bassin de la Pinède. — Les besoins croissants du port de Marseille ont nécessité la construction d'un nouveau bassin, celui de la Pinède, au nord du bassin National.

Il a la forme d'un rectangle de 600 × 500 mètres, et un prolongement de la digue générale lui constituera un nouvel avant-port. La profondeur minima sera de 8,50 *m*.

Lorsque les travaux seront terminés, les darses offriront une surface d'eau de 160 hectares avec un développement de quais de 16 000 mètres (rapport $\frac{1}{100}$). Une quarantaine d'hectares seront affectés au dépôt des marchandises.

L'outillage mécanique est peu développé dans le Port Vieux et dans le bassin de la Joliette.

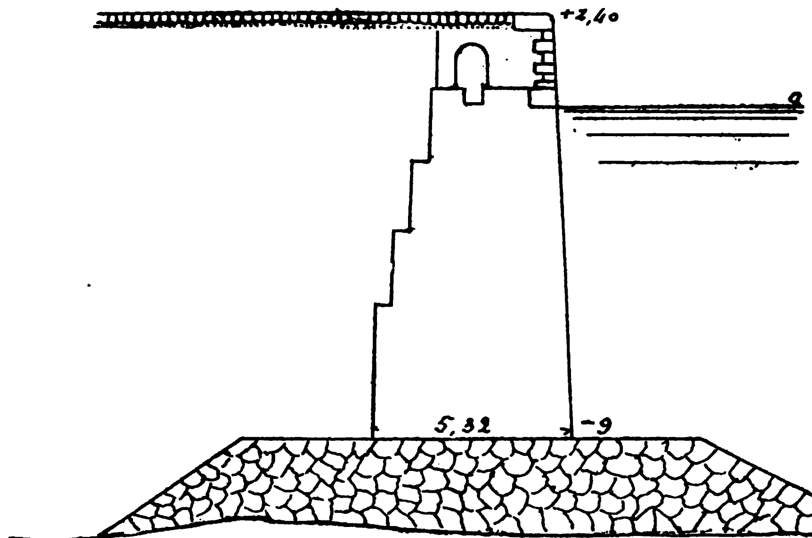


Fig. 371. — Quai du Bassin de la Pinède.

La Compagnie des Docks, qui exploite les bassins du Lazaret, d'Arenc et de la Gare Maritime, a placé sur les quais : 59 grues hydrauliques

d'une à trois tonnes de pouvoir, dont vingt mobiles; quelques grues à bras ou à vapeur; des appareils pour le débarquement des céréales.

La Chambre de Commerce a outillé les bassins National et de la Gare Maritime : 31 grues hydrauliques mobiles de une à trois tonnes, 3 treuils et 38 cabestans hydrauliques, une bigue hydraulique de 120 tonnes.

Dix pontons mâtures et 9 grues à vapeur sur chalands constituent le matériel mobile.

Le long des bassins exploités par la Compagnie des Docks existent neuf hectares de hangars et magasins, étages et caves compris. Six hectares de hangars seront prochainement terminés aux bassins National et de la Gare Maritime.

L'éclairage électrique est installé par la Compagnie des Messageries Maritimes à la Joliette et par celle des Docks le long de ses bassins.

Nous donnons (fig. 371) le type du mur de quai en maçonnerie du bassin de la Pinède; il est construit en maçonnerie dans des caissons à air comprimé, mobiles par portions de 16 à 18 mètres de longueur et 1,50 *m* de hauteur, soudés les uns aux autres.

PHILIPPEVILLE (pl. VI, fig. 3).

Philippeville est le port de Constantine. Cette considération seule a pu déterminer la création de cet établissement maritime, sur le point le plus ingrat de toute la côte algérienne. Philippeville, en effet, est au fond d'une baie à peine esquissée, complètement ouverte au nord et mal protégée à l'ouest par la côte qui remonte le méridien depuis Stora jusqu'à l'île Srigina (fig. 372).

Primitivement, la baie avait été condamnée par les ingénieurs, non seulement à cause de l'exposition, mais aussi par crainte des ensablements qu'aurait pu déterminer l'oued Saf-saf. Il a été vite reconnu que cette appréhension ne reposait sur aucun fondement et le port artificiel a été établi sans déterminer la moindre invasion des sables.

Le grand môle du nord, qui protège la darse, a subi de nombreuses avaries par suite de la faiblesse relative des profils opposés aux vagues. La raison en est toute simple. Le port, qui coûte en définitive une vingtaine de millions, était estimé dans l'origine ne devoir occasionner qu'une dépense de 12 millions; même dans ces conditions, les travaux n'ont été entrepris qu'après de nombreuses hésitations. Il en est résulté

une recherche exagérée de l'économie, qui a fini par occasionner des excédents de frais.

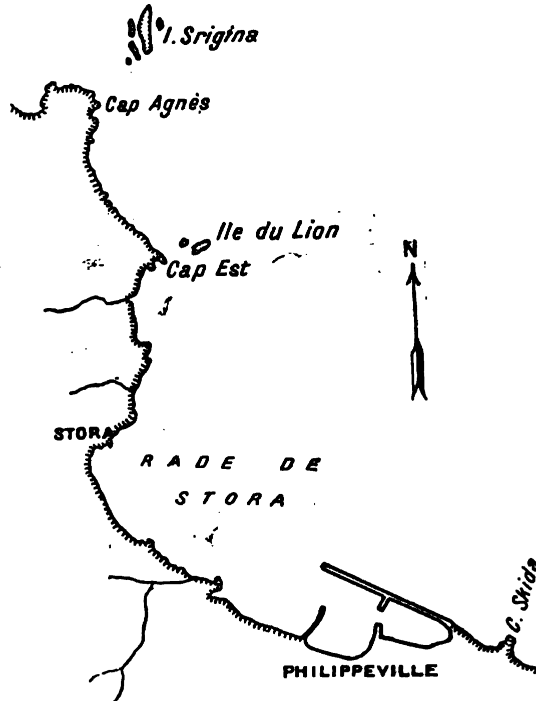


Fig. 372. — Philippeville.

La rade de Philippeville, connue pour sa mer exceptionnellement mauvaise, ne pouvait être traitée comme celle de Marseille, sinon plus mal. Avec un revêtement de blocs artificiels judicieusement posés et d'un poids suffisant on aurait évité les désastres qui ont marqué la construction du môle.

Quoiqu'il en soit, le succès a été obtenu et le port, qui reçoit les cuirassés de la marine de guerre, donne complète satisfaction aux besoins du commerce.

L'outillage est rudimentaire.

GÊNES (pl. III, fig. 1).

Le port de Gênes, situé dans une baie en hémicycle, large de 1 300 mètres, profonde de 800 mètres, est ouvert vers le sud. Il n'était protégé jusqu'à ces dernières années que par deux môles, le Vieux môle à l'est

long de 600 mètres et le Nouveau môle, allant de l'ouest à l'est et auquel divers prolongements avaient donné une largeur de 950 mètres. La passe, ouverte à l'est, avait 500 mètres.

La baie n'était guère tranquille surtout par les vents de SO. Les navires ne pouvaient aborder et travailler qu'en trois points : à l'abri du vieux môle, dans la crique du *Mandraccio* derrière le nouveau môle où le chemin de fer exploitait des quais bien aménagés, et enfin dans une petite darse de 2 hectares et demi située au fond du port, à l'ouest.

Plusieurs projets avaient été discutés pour améliorer la situation, quand un don de 20 millions du duc de Galliera imposa un programme que le Gouvernement a exécuté en dépensant de son côté une somme considérable.

Le port de Gênes comprend aujourd'hui les ouvrages suivants :

Le môle Galliera, qui commence à l'extrémité du môle neuf, se compose de deux branches dirigées, la première du nord au sud et l'autre de l'ENO. à l'ESE. : elles ont 657 et 842 mètres de largeur. Le môle s'étend des profondeurs de 15 mètres à celles de 28 mètres.

Le môle Giano, qui est à peu près la reproduction du vieux môle à 900 mètres plus en mer, a 595 mètres de longueur et s'étend jusqu'aux fonds de 15 mètres.

L'entrée, large de 600 mètres, est encore ouverte vers l'est, comme au plan primitif. L'avant-port compris entre les anciens et les nouveaux môles, a 95 hectares de superficie. Il est bien défendu contre les mers du sud-ouest, mais celles du sud-est y produisent encore une agitation qui s'étend même au port intérieur, sans gêner pourtant l'accostage des quais.

Le port intérieur est dragué à 9 mètres.

Les quais de la périphérie et ceux obtenus par la création de traverses sont composés de quatre rangs de blocs artificiels établis sur un enrochement à la cote — 7,50 *m*. Ces traverses, à partir du Mandraccio, portent les noms suivants :

Embriaco. — Spinola. — Calvi. — Morosini. — Parodi. — Federico Guglielmo, — Doria. — Colombo. — Biagio Assereto. — Carraciolo. — Sapri. — Paleocapa.

Les deux derniers se détachent du nouveau môle.

Ces traverses se partagent en trois groupes. Le premier, depuis Embriaco jusqu'à Morosini, est réservé au trafic local. Le second, depuis

Parodi jusqu'à Assereto au commerce de transit; les autres sont affectés au charbon, aux métaux et aux matières inflammables.

Les quais sont pourvus d'un nombre fixé à 80 de grues fixes ou mobiles de différents pouvoirs, de 10 jiggers de 400 kilogrammes et 24 cabestans d'une tonne.

Les trois moteurs à vapeur de 250 chevaux chacun et les pompes sont installés dans un édifice central situé à l'est de la traverse Andrea Doria; de là partent 8 kilomètres de tuyaux qui portent l'eau sous la pression de 52 kilogrammes à six accumulateurs. Il existe aussi un certain nombre de grues à vapeur et à bras, et un ponton à vapeur de 120 tonnes.

Le réseau des chemins de fer est très étendu.

La longueur des quais pour l'accostage des navires de fort tonnage est de 8 kilomètres; pour les petits navires de 3 kilomètres.

Le quai Federico Guglielmo est affecté à l'embarquement des émigrants pour l'Amérique. Les navires de guerre mouillent derrière le môle Giano.

Là aussi existent deux formes de radoub dont les dimensions sont les suivantes :

	Longueur	Largeur		Hauteur d'eau
		au radier	au couronnement	sur le seuil
N° 1	179	21,06	29,40	9,50
N° 2	219	14,64	24,92	8,50

Le bassin n° 2 peut, par des portes intermédiaires, se partager en deux combinaisons de bassins, l'une de 90 et 110 mètres, l'autre de 130 et 70 mètres.

Une forme municipale de 89 mètres de longueur et 21 mètres de largeur est installée près de la Darsena.

Une forme flottante de 98 mètres sur 24 est mouillée en face de la traverse Spinola. Au môle vieux se trouve une cale de 60 mètres de largueur, destinée à disparaître. Tous ces moyens de radoub sont concédés à une même Société.

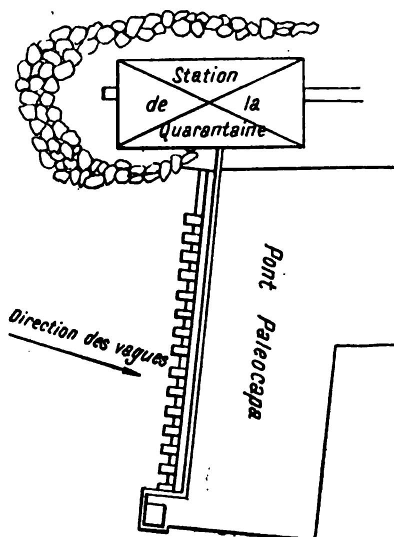


Fig. 373. — Môle Paleocapa.

Contre le Mandraccio est installé un entrepôt, dit Déposito franco, considéré comme en dehors de la ligne douanière, et où les marchandises ne sont soumises à aucune formalité si ce n'est à la sortie au cas d'introduction dans le pays,

Signalons la disposition du pont Paleocapa, à l'entrée. Des blocs de 5×2×2 mètres ont été disposés sur une série d'épis, qui ont suffi pour arrêter la propagation des vagues le long de ce mur (fig. 373).

LIVOURNE (pl. XVI, fig. 1).

Le port de Livourne, au contraire de la plupart des ports italiens, présente des darses distinctes. Elles sont abritées par une triple rangée d'ouvrages extérieurs.

Le plus ancien est le môle Médicis, d'une longueur de 785 mètres. Sous le gouvernement du dernier grand-duc de Toscane furent construits le môle rectiligne, long de 500 mètres et qui ferme au nord le port Médicis, ainsi que la digue curviligne, arc de cercle de 1 100 mètres de longueur et de 700 mètres de rayon. Ces ouvrages sont dus à Poirel.

Ils étaient loin de suffire, car les vents dominants sont du sud; aussi a-t-on complété la protection du port en 1893 par la digue rectiligne de la Vegliaia, de 480 mètres de longueur.

Les navires de 7 mètres de tirant d'eau peuvent entrer dans le port Médicis.

NAPLES (pl. III, fig. 2).

La baie de Naples, protégée par des caps et par les îles de Procida, d'Ischia, de Capri, est très tranquille et en 1860 elle ne comptait comme abris artificiels que le môle San Vincenzo, dirigé vers l'est et long de 550 mètres. Un môle en équerre intérieur donnait une sécurité plus complète au bassin *Mercantile*, borné à l'est par le môle Immacolatella. La première partie de l'équerre porte le nom de môle Angioino ; la seconde môle San Gennaro.

La partie entre les môles San Vincenzo et Angioino était réservée au port militaire, avec petite darse d'un hectare un tiers.

En 1861, en même temps que la prolongation du môle San Vincenzo, on commençait à l'est, à une distance de 2 kilomètres et demi, un môle

en enrochements (môle dei Granili), dirigé du Nord-Est au Sud-Ouest, et qui devait fermer de ce côté le port. Mais on arrêta ce travail après la construction de 400 mètres, car il produisait, sous l'influence des vents du Sud-Ouest un ressac funeste aux navires mouillés dans la rade. Quant au môle San Vincenzo, il atteignit une longueur de 1160 mètres.

On a terminé en 1896 une série de travaux nouveaux comprenant:

L'allongement du môle San Vincenzo, qui compte maintenant 1500 mètres;

La construction d'un nouveau port de commerce, borné à l'ouest par un môle normal à la terre (môle oriental) courbé en équerre vers l'ouest (molo a martello) et prolongé au delà par une courbe vers le SE. (molo curvilineo). Ce port comporte 795 mètres de quais, avec 8 mètres d'eau à leur pied, et une traverse (Ponte trapezoïdale) qui donne un développement additionnel de 375 mètres de quais.

Des quais ont été également établis le long des môles Immacolatella, Angioino et San Gennaro.

Le nouveau port, pourvu de conduites d'eau, de gaz, etc., est creusé au minimum à la cote — 8,50 *m* sous les plus basses mers.

On procède en ce moment à la consolidation du musoir du môle San Vincenzo qui sera légèrement recourbé en équerre vers la terre. Ce musoir atteint les fonds de 35 mètres. On établit également des voies ferrées sur les quais, des hangars métalliques, une grandiose station maritime sur le pont trapézoïdal, où seront concentrés les services du port, de la douane et des postes, une station sanitaire sur le môle San Vincenzo, une station électrique très considérable, pour l'éclairage du port et la manœuvre de 4 grues.

On construit encore un mur qui limitera à l'ouest du nouveau port de commerce une darse pour les réparations, où aboutiront une forme de radoub de 200 mètres de longueur et 35 mètres de largeur et une cale de halage.

L'ensemble de ces beaux travaux coûtera 27 millions et demi. Mais les ouvrages de défense n'ont pas encore réussi à donner aux darses la tranquillité nécessaire et l'on va établir une nouvelle digue courbe qui laissera entre elle et le musoir du môle San Vincenzo une passe de 350 mètres, qu'il vaudrait peut-être mieux réduire à 300 mètres. Dans ces conditions, le môle curviligne ancien serait inutile et pourrait être démoli.

Le mouvement commercial du port de Naples a atteint en 1898 850 000 tonnes de marchandises; le nombre des passagers, principalement émigrants, s'est élevé à 300 000.

Les premiers renseignements sur le port de Naples nous ont été fournis par M. l'ingénieur Trinchera. Les plus récents sont dus à la bienveillance de M. l'Ingénieur en Chef Rava et surtout de M. l'ingénieur Coen Cagli.

TRIESTE (pl. III, fig. 3).

Trieste est situé au fond de l'Adriatique, sur la côte autrichienne, dans une baie abritée. Pendant longtemps le port ne se composa que du mouillage en pleine mer, et le débarquement était protégé par un môle très court, dit de Marie-Thérèse. Quelques débarcadères et deux bassins peu importants, celui du Lazaret et la Darsena, permettaient l'accostage des petits navires.

Depuis 1867, on a construit sur les plans de M. Pascal un nouveau port dont les dispositions générales rappellent celles de Marseille, dues au même ingénieur. Les bassins primitifs ont été comblés. En pleine mer on a construit une digue de 1 400 mètres de longueur, parallèle au rivage, avec un épi près de l'extrémité nord, destiné à arrêter les vagues. A l'abri de cette digue ont été établis des môles-quais, dessinant trois bassins, dont l'un presque fermé et réservé d'abord au pétrole, sert aujourd'hui au charbon, tandis que le pétrole est débarqué dans la baie voisine de Muggia.

Les bassins, profonds de 8,50 *m*, ont une superficie de 15 hectares; la longueur des quais accostables dépassait 3 kilomètres; la surface des terre-pleins atteignait 24 hectares.

Les môles-quais ont 215 mètres de longueur; leurs largeurs sont de 76, 85 et 110 mètres (du sud au nord). Ils comportent de chaque côté une voie ferrée pour grues roulantes et une autre pour les wagons.

On a depuis construit un quatrième môle et amélioré les quais situés entre le môle IV et le môle Santa-Teresa.

La digue a été construite malgré l'opposition de la ville et les réclamations n'ont jamais cessé contre son établissement. L'épi du nord gêne, paraît-il, les évolutions des navires, et la branche principale du sud serait trop longue également. Une Commission, dont M. l'ingénieur

Geireinger a été le rapporteur [1] a demandé la démolition de l'épi nord et d'une longueur de 400 mètres de la digue au sud.

Pour compléter l'abri, on remplacerait cette dernière partie par une égale longueur de digue, se dirigeant vers le môle Santa-Teresa (1er projet) ou par une digue isolée, de 800 mètres de longueur, à une distance de 300 mètres au large du phare (2e projet).

Cette seconde solution, plus coûteuse, nous semble la meilleure pour mettre les quais qui s'étendent du môle IV au môle Santa-Teresa à l'abri des vents du troisième quadrant. Il serait pourtant nécessaire d'examiner si la navigation ne serait pas gênée par cet ouvrage pendant que soufflerait le vent de l'ENE., la *bora*, dont la violence est extrême.

Un agrandissement considérable du port est aussi prévu du côté de la baie de Muggia, mais il n'est pas urgent de le décrire, car les projets peuvent encore beaucoup varier avant leur exécution.

FIUME (pl. VI, fig. 1).

Le port de Fiume a été construit artificiellement au fond de la baie très protégée del Quarnero. Il comprend trois parties.

Le port principal, abrité par le môle Maria-Terezia, de 1 378 mètres de longueur. Sa superficie est de 42 hectares et il offre 2 775 mètres courants de quais $\left(\text{rapport } \frac{1}{66}\right)$ le long desquels existent des profondeurs de 3,5 à 7,5 *m*. Au milieu du port, on sonde jusqu'à 35 mètres;

Le port Gabriele Baross, réservé au bois, a 6 hectares de superficie, avec 1 260 mètres de quais $\left(\text{rapport } \frac{1}{210}\right)$ où peuvent accoster les navires calant 7,5 *m* d'eau;

Le port au pétrole, de 2 hectares.

L'académie de guerre possède un bassin spécial pour ses exercices. Un petit bassin contient un dock-flottant de 60 mètres de longueur.

L'outillage mécanique de Fiume est peu important, mais comme le port est le seul de la monarchie hongroise, son mouvement maritime est considérable. Il s'y trouve un magasin à grains pouvant contenir la charge de 1 000 wagons.

1. Nous devons ces renseignements à son obligeance.

VALENCE (pl. XVI, fig. 3).

L'étude du port de Valence, dont nous devons les éléments à l'obligeance de l'ingénieur directeur des travaux M. Manuel Maese, est très intéressante, car elle montre les difficultés qui peuvent surgir d'un projet mal conçu.

Le port est situé sur la côte orientale d'Espagne le long d'une portion dirigée suivant le méridien. Un peu au sud débouche le Turia, qui durant les crues emporte à la mer une grande quantité de sédiments.

La résultante des vents vient presque de l'est, avec un angle de 15° vers le nord, ce qui représente à peu près un vent de l'E. $\frac{1}{4}$ NE. Les tempêtes soufflent principalement du NE. et du NO. Ceux-ci provenant de terre n'ont pas d'action sur les vagues du golfe ; donc, résultante générale et vents et tempêtes viennent à peu près du NE. et la marche des alluvions doit se faire du nord au sud. C'est ce que l'on observe sur toute la côte. Autrefois, l'embouchure du Turia se dirigeait vers le midi.

Mais le grand môle est qui couvre le port de Valence a changé les choses. Le Turia débouche maintenant dans une zone abritée ; les vagues qui contournent le môle est s'infléchissent au delà du musoir et repoussent vers le port les alluvions du fleuve, tandis que les sables provenant du nord débordent le musoir est et se répandent également dans l'avant-port. En vain on a opposé aux sédiments du Turia un môle ouest ; on ne peut maintenir les profondeurs qu'au prix de dragages considérables.

La déviation du lit du fleuve s'impose donc ; elle rejetterait l'embouchure au sud, en dehors de la zone abritée, zone qui deviendra plus vaste encore quand les nouveaux môles seront terminés. Le point désigné pour la future embouchure est la lagune (Albufera) de Valence.

On remarquera que les nouveaux projets prévoient deux entrées : La principale à l'est est destinée à l'entrée des navires par les vents ordinaires ; sa direction est heureusement choisie. L'autre servira à l'entrée par les autres vents ; elle donnera aussi une sortie facile aux navires qui se rendent vers le sud.

En attendant la déviation du lit du Turia, un môle presque parallèle à la côte obligera le fleuve à s'écouler vers le sud et protégera longtemps le port contre les alluvions. Plus tard, cette partie sera comblée, ce qu'aura exécuté en partie le fleuve lui-même.

La direction du môle est est telle que les sables s'accumuleront à l'angle formé par l'ancien ouvrage avec le nouveau, et l'on peut espérer que comme les quantités qui voyagent sur la côte ne sont pas considérables, il s'opérera dans le réservoir ainsi constitué un broyage assez énergique pour que l'avancement de la plage soit très retardé.

On a émis l'idée de se débarrasser des apports du Turia uniquement par le dragage, sans avoir recours à la déviation du lit; mais ces apports atteignent parfois des volumes énormes, tels qu'en 1897 ils ont produit un exhaussement de 18 centimètres dans la darse et de 1,44 *m* dans l'avant-port. L'entretien dans ces conditions serait donc très coûteux.

PORTS DE HEYST ET BRUGES (fig. 374)

Le port établi à Heyst ou plutôt Zeebrugge, sur la côte de Belgique, a un double rôle. Il est d'abord par lui-même un port d'escale, facilement accessible, et où les navires accostent rapidement au quai où ils pourront opérer. D'autre part, il abrite l'entrée d'un canal qui reliera à la mer le port intérieur de Bruges.

Le point a été choisi après de longues discussions; en cet endroit, a-t-on conclu, les mouvements de sable ne sont guère à craindre; au contraire, l'action de la mer est envahissante et c'est l'Escaut qui y amène parfois des eaux vaseuses. Le rivage est protégé par divers bancs, et l'on n'a guère à redouter de grosses mers que du sud-ouest au nord-ouest par l'ouest. C'est contre elles que l'abri du port a été constitué.

Le port est protégé par un môle courbe, qui comprend plusieurs parties :

Plein sur toute la longueur de l'estran (232 mètres), il se développe à partir de la laisse des basses-mers, sur 400 mètres de longueur, en une estacade à claire-voie destinée à faciliter la circulation des courants de marée et à atténuer les dépôts de vase dans la rade. Cette partie est constituée par des palées distantes de 5 mètres, formées de pieux en acier, et portant un tablier. Son extrémité du large s'appuie sur une culée en maçonnerie, fondée à l'air comprimé à la cote — 8,50 *m*. La troisième partie est pleine ; elle se compose de deux portions : l'une, de 1 200 mètres environ de longueur, sera doublée du quai d'opérations; l'autre de 350 mètres ne servira que d'abri, pour éloigner du quai les

lames qui contourneront le musoir, distant de 950 mètres de la laisse des basses mers.

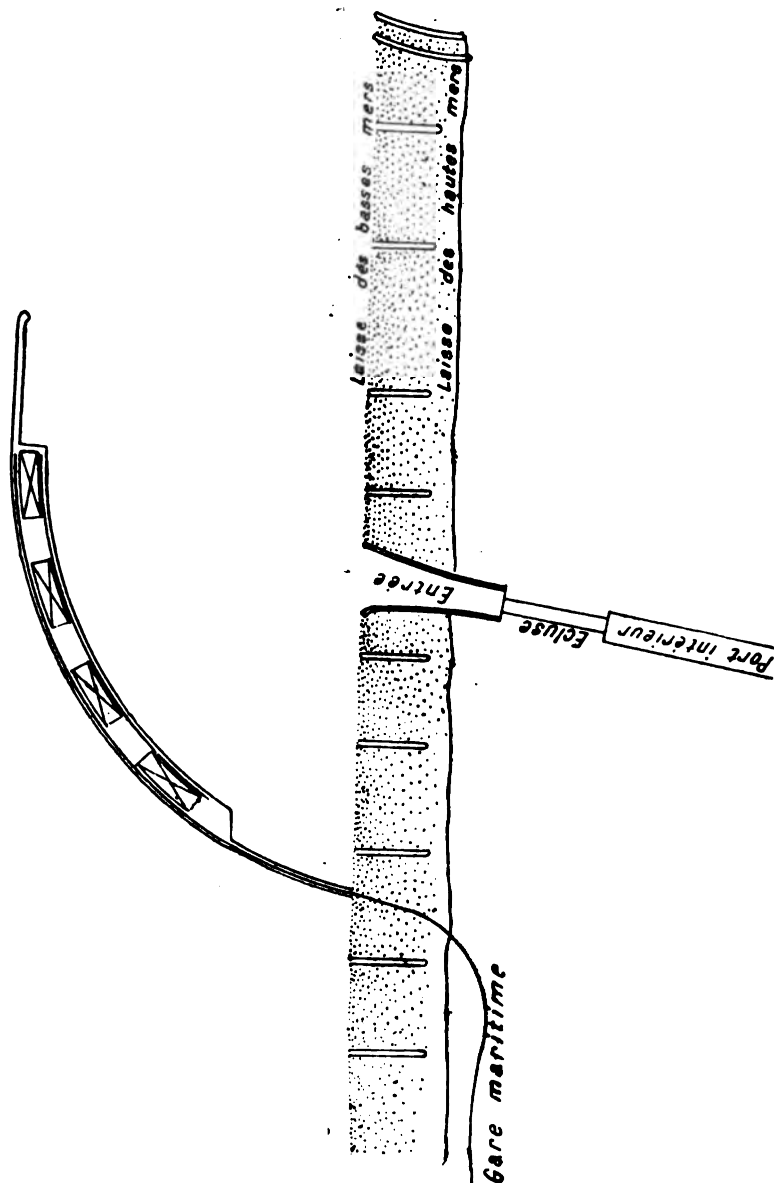


Fig. 374. — Port de Zeebrugge.

La superficie ainsi couverte a 110 hectares ; elle sera draguée à 8 mètres sur 300 mètres de largeur le long du quai.

Le reste sera dragué à la cote — 6 mètres, pour permettre l'accès du

chenal intérieur. Celui-ci est limité sur l'estran par des jetées-basses en moellons maçonnés, surmontés d'une passerelle. Le chenal entre jetées a 200 mètres de large à l'entrée et 116 mètres à son raccordement avec le canal intérieur, qui aboutit à l'écluse maritime, laquelle a 20 mètres de largeur et un sas de 158 mètres de longueur. Ensuite vient un bassin d'arrière-port de 660 × 50 mètres.

Le canal maritime qui relie le port de Heyst à celui de Bruges a les dimensions suivantes : Largeur au plafond 22 mètres, à la flottaison 70 mètres; profondeur 8 mètres. Talus à $\frac{3}{1}$ du fond jusqu'à 1,50 *m* au-dessous de la surface ; à ce niveau est ménagée, une berme de 1,50 *m*, et au-dessus, un talus de $\frac{2}{1}$ protégé sur une hauteur verticale de 3 mètres par un perré à sec sur corroi d'argile.

Le port de Bruges comprend, outre une gare de virement, large de 170 mètres, deux bassins parallèles séparés par une traverse de 120 mètres de large. Le bassin d'ouest, large de 63 mètres, a 540 mètres de longueur, avec un mouillage de 6,50 *m*. Les rives seront en talus perreyé recouverts d'appontements. Celui de l'est n'a que 320 mètres de longueur sur 90 mètres de largeur, mais avec 8 mètres de mouillage.

Le bassin d'est communique par une écluse avec le système des canaux navigables de la Belgique.

ANVERS (pl. XI, fig. 1)

Anvers est situé sur l'Escaut, à 90 kilomètres de la mer. Le pays est tellement plat que la hauteur des eaux du fleuve, à marée basse, n'atteint que 4,40 *cm* au-dessus du niveau de la mer et la marée se fait sentir jusqu'à Gand, à la cote + 5 mètres. A Anvers, la marée de syzygie atteint 4,29 *m*.

Après plusieurs siècles de prospérité, Anvers était tombé dans une complète décadence lorsque Napoléon y fit exécuter des travaux considérables, notamment le Grand et le Petit Bassin ; l'impulsion lui vint surtout du rachat du péage de l'Escaut (1863). Les efforts réunis du Gouvernement et de la municipalité ont prodigieusement développé son commerce.

Le port d'Anvers se compose du lit de l'Escaut et d'un groupe de bassins à flot.

L'Escaut décrit devant la ville une courbe large de 450 mètres à marée haute et 400 à marée basse. Depuis la régularisation des quais de la rive droite (1877-1884), le mouillage au pied des murs est de 8 mètres en basses eaux. Leur longueur est de 3 500 mètres et leur arête se trouve à 2,60 *m* au-dessus des hautes eaux moyennes.

En 1901 sera terminé le prolongement vers le sud du quai actuel sur une longueur de 2 000 mètres.

Les bassins sont au nombre de huit : Petit Bassin (1810). — Grand Bassin (1812). — Kattendijk (1861). — Bassin aux Bois. — Bassin de la Campine. — Bassin Asia (1873). — Bassins Lefebvre et America (1890). Ces bassins ne communiquent, avec l'Escaut que par deux écluses : l'une de 18 mètres de largeur et 6,89 *m* de hauteur d'eau maxima sur le seuil, débouche dans le Petit Bassin ; l'autre, de 24,80 *m* et 7,63 *m* de hauteur d'eau, dans le bassin du Kattendijk. On en avait commencé une troisième avec 8,75 *m* de hauteur d'eau ; la construction en a été arrêtée par suite d'infiltrations qu'on n'a pu oblitérer. Les écluses restent ouvertes pendant trois heures. Le niveau des bassins est maintenu à 30 *cm* au-dessous des hautes eaux moyennes.

Les bassins communiquent entre eux par des écluses simples ; il existe un sas entre le Grand Bassin et celui du Kattendijk. Les portes sont manœuvrées par l'eau sous pression.

La surface d'eau des bassins est de 64,3 *ha* et le développement des murs de quai de 10 760 mètres dont 2 600 mètres de talus accostables (rapport 1.170). Les divers bassins sont affectés aux manutentions générales ; le bassin Lefebvre était destiné aux transatlantiques, mais le défaut d'une écluse spéciale gêne leurs mouvements. Le bassin America est consacré au trafic du pétrole ; 80 000 mètres cubes peuvent y être emmagasinés.

Le quai de l'Escaut a 100 mètres de largeur et est recouvert de hangars d'une superficie de près de 100 000 mètres carrés, desservis par 24 kilomètres de voies ferrées réparties en six lignes, une de quai et cinq derrière les hangars. La manutention s'opère par 83 grues hydrauliques mobiles, de la force de 1 500 kilogrammes ; quelques-unes sont de 2 tonnes. L'eau leur est fournie, ainsi qu'à 38 cabestans, par une usine dont les moteurs sont deux machines compound à condensation de 250 chevaux chacune.

Les terre-pleins des quais des bassins sont couverts de 125 000 mètres carrés de hangars ; ils sont desservis par 47 kilomètres de voies ferrées. Les engins hydrauliques comprennent : 49 grues roulantes, dont 27 de 2 tonnes et 22 de 1 500 kilogrammes, une bigue de 120 tonnes, 2 grues fixes de 40 tonnes, une de 20. Il y a en outre 2 grues fixes de 20 tonnes et une de 5 tonnes mues à bras. Pour l'embarquement du charbon un coal-tip (Kolentip) permet de soulever un wagon de 25 tonnes à 12 mètres de hauteur et cette opération se répète dix fois par heure.

L'eau sous pression est fournie à ces engins ainsi qu'à 12 cabestans, aux ponts mobiles, par une usine où sont installés trois moteurs de 150 chevaux chacun.

Les bassins de radoub sont au nombre de 6. Le plus grand a 159×24,80 *m* ; trois autres ont 131×15 mètres ; les petits ont respectivement 69×12 et 48×10 mètres. Les six cales sont épuisées par une seule machine de 250 chevaux actionnant huit pompes ; l'installation est ancienne.

Au sud de la ville sont trois bassins d'une contenance de 4 hectares pour le batelage.

Plusieurs magasins servent d'annexes au port. Ce sont : L'Entrepôt Royal avec une superficie de 32 000 mètres carrés, répartis sur un rez-de-chaussée et quatre étages dans trois corps de bâtiments séparés par des cours où pénètrent les wagons. La manutention s'y fait par des engins hydrauliques, dont l'accumulateur alimentaire est fourni d'eau par une machine de 50 chevaux. Ils comprennent dix grues de 900 kilogrammes appliquées à l'extérieur au quatrième étage avec chaîne passant sur quatre poulies mouflées et ayant 17 mètres de course — sept ascenseurs hydrauliques à plateau et un certain nombre de jiggers ;

Le magasin Montevideo de 7 800 mètres carrés;

Le Hangar prussien, la maison de Hesse, le Palais de l'Industrie, l'arsenal de guerre ;

Sur l'un des quais du bassin Lefebvre se trouve un vaste magasin à silos pouvant contenir 325 000 hectolitres de grains. Le système est à bandes transporteuses. Ce magasin a remplacé l'ancienne Maison hanséatique, détruite par un incendie.

Il existe en outre de nombreux magasins particuliers.

Les gares de marchandises sont : la *Gare principale*, celle de Stuivenberg et celle de formation Anvers-Zuirenborg.

La gare principale ou d'Anvers-Bassins comprend deux locaux différents. Le premier, où s'opère une manutention considérable, est abondamment pourvu d'appareils hydrauliques (46 grues, 30 cabestans).

De 1879 à 1898 l'Etat a dépensé à Anvers 80 millions et la municipalité 50 millions de francs pour le port.

Mais le développement du commerce a rendu insuffisantes les installations. Non seulement les 2 000 mètres de quais en construction le long de l'Escaut vont coûter une somme considérable, mais plusieurs projets ont été présentés pour l'établissement de nouveaux bassins. Ces projets sont intimement liés à l'amélioration des conditions de l'Escaut en aval. Nous n'entrerons pas dans le détail des études faites à ce sujet, mais il est presque impossible à l'heure actuelle de parler d'Anvers sans exposer la question qui y divise les Ingénieurs [1].

Des courbes de l'Escaut, les plus prononcées sont: l'une celle qui se trouve en face du bassin du Kattendijk, l'autre à 6 kilomètres en aval, devant le fort Philippe ; elles sont gênantes pour la navigation des très grands navires et il a été jugé utile de les rectifier. Deux projets sont en présence : l'un se contente d'adoucir la courbure des deux boucles, l'autre les supprime radicalement et les remplace par une seule courbe de grand rayon qui part du bassin du Kattendijk et va rejoindre le fleuve à Kruischanss ; la deuxième voie est plus courte d'environ trois kilomètres, on la désigne en Belgique sous le nom de la Grande Coupure.

Ses partisans font valoir les avantages suivants :

L'Escaut, coulant désormais dans un lit concave du côté de la ville, creuserait son lit de ce côté et assurerait ainsi de grandes profondeurs au pied des quais qu'on y construirait.

La courbe cependant est assez aplatie pour n'apporter aucune entrave à la navigation ; elle facilitera par ailleurs l'évacuation des glaçons en hiver. La marée serait plus régulière, les courants moins violents en moyenne.

On objecte au premier projet qu'il allonge de 300 mètres le parcours actuel, qu'il conserve deux courbes encore trop brusques, qui ne donneraient pas les améliorations signalées en faveur du second.

Mais il a également des partisans qui allèguent des raisons très

1. Nous devons les documents et renseignements complets à l'obligeance de M, G. Royers, ingénieur en chef, directeur des travaux communaux d'Anvers.

plausibles. La rectification d'abord change le moins possible le cours du fleuve et il n'y a pas dès lors à craindre d'aléa dans son allure générale ; elle est la moins coûteuse. Enfin la Grande Coupure a le désavantage de supprimer le bassin America qui vient d'être construit. Il est vrai que cette suppression est presque regardée comme un avantage parce que ce bassin est consacré au pétrole qui se trouve ainsi trop rapproché des autres. Il semble pourtant qu'il serait plus économique de déplacer le pétrole que de démolir le bassin.

Contre la Grande Coupure on a fait valoir que le lit désormais trop droit ne serait peut-être pas stable ; qu'à un moment donné le courant se partagera entre les deux lits et qu'il en résultera des atterrissements ; qu'il y aura une interruption dans le service du fleuve lorsqu'il faudra substituer la nouvelle voie à l'ancienne ; enfin qu'en rapprochant le fleuve du bassin Lefebvre il pourrait se produire des infiltrations.

Il ne nous appartient pas de décider entre les deux projets. Ce qu'on peut dire, c'est que si rien n'existait, la solution par la Grande Coupure serait certainement la meilleure. Nous ne pensons pas qu'il y ait beaucoup d'atterrisements à craindre à cause de la faible courbure ; elle semble suffisante, et dans l'Elbe les alignements sont encore plus considérables. En tout cas, les dragages nécessaires seraient exécutés aisément et à bon marché.

Il est certain qu'il y aura un moment critique, celui de la substitution du nouveau lit à l'ancien ; mais dans l'autre projet, les courbes s'écartent aussi du lit du fleuve et le même inconvénient se présentera ; la rapidité de l'exécution simultanée du barrage de l'ancien chenal et de l'excavation du nouveau devra y remédier.

Le principal inconvénient du projet consiste dans la suppression du bassin America et de la batterie à coupoles placée à côté. Il ne parait pas impossible de combiner un tracé qui donnerait satisfaction à tous les intérêts en présence.

Ajoutons enfin que l'Ingénieur de la ville, M. Royers, est l'auteur d'un projet, sorte de moyen terme entre les deux solutions préconisées.

Tout en améliorant le lit actuel, il creuse dans la prolongation du bassin America un long canal relié en amont et en aval à l'Escaut par deux écluses. C'est, en somme, la coupure réduite et éclusée. Perpendiculairement au canal, l'auteur du projet prévoit douze branches séparées par des traverses larges de 275 mètres, les branches ou rues d'eau ayant en moyenne un kilomètre de longueur. Ce serait donc une installation colossale.

BRÊME (pl. VII, fig. 2).

Après la régularisation du Weser, Brême a pu avoir un port particulier, qui a coûté une quarantaine de millions. C'est un port franc.

Sa superficie est de 100 hectares ; sa longueur maxima de 2 500 mètres, sa largeur moyenne 400 mètres. Le bassin est long de 2 kilomètres, large de 120 mètres et communique avec le fleuve par une passe de 60 mètres, tournée vers l'aval.

La différence entre les basses eaux et les plus hautes, déterminées par les crues, est de 7 mètres ; néanmoins le bassin n'est pas clos. On a adopté cette solution à cause de la longue durée de l'étale dans la rivière, qui facilite les opérations, et aussi à cause de la perméabilité du sous-sol qui aurait fait varier de 4 mètres le niveau d'un bassin à flot.

Le bassin est creusé à 6 mètres au-dessous des basses eaux, sauf les extraordinaires, qui descendent à un mètre plus bas.

Les murs sont percés d'un tunnel longitudinal où sont posés les conduites d'eau et les fils électriques. Les premières sont alimentées en hiver par l'eau de condensation des machines, de sorte que la température du tunnel reste presque constante.

Les hangars, de 40 mètres de largeur, ainsi que les magasins ont déjà été décrits. Il existe deux magasins à grains : l'un a 170 mètres de longueur sur 40 mètres de largeur ; il n'a qu'un étage sur un tiers de sa largeur, du côté de l'eau, et deux sur le reste. L'autre, de deux étages, mesure 270×30 mètres.

De vastes magasins, symétriquement placés le long des quais, sont abondamment servis par des grues, des treuils, des élévateurs, des voies ferrées. Un tip de 15 tonnes sert à l'embarquement du charbon.

L'outillage comprend 85 grues hydrauliques, d'une puissance totale de 1 500 tonnes, 74 sont mobiles et 11 fixes, cinquante élévateurs et treuils dans les magasins et 17 treuils entre les lignes des voies de quais. Les grues sont généralement à triple pouvoir.

Une grue flottante est à double pouvoir, 10 et 40 tonnes.

L'éclairage électrique par arc ou à incandescence est répandu à profusion.

BREMERHAVEN

Bremerhaven est situé presque à l'embouchure du Weser. Il comprend trois bassins à flot : le Vieux dock (1830), le Nouveau dock (1851) et le Kaiser dock (1876), dont les entrées, tournées vers l'amont du fleuve, ont respectivement 11, 19 et 17 mètres de largeur, avec 5,50 *m*, 7,30 *m* et 7,60 *m* de hauteur d'eau sur le seuil. Une nouvelle entrée au Kaiser dock, qui a également été agrandi, a été construite en 1891.

Cette entrée est aussi tournée vers l'amont, elle aboutit au Kaiser dock, qui maintenant mesure 20 hectares.

Au Kaiser dock est annexé un petit bassin, où s'ouvre une cale de radoub de 200 mètres de longueur et 25 mètres de largeur, avec un tirant d'eau de 9 mètres en hautes mers de morte eau. La fermeture est opérée par un bateau-porte, qui peut se placer dans une rainure ne laissant que 140 mètres au bassin. La vidange s'opère en deux heures et demie par trois pompes centrifuges.

Il existe aussi un bassin de réparations, où peuvent tenir deux navires de 200 et 150 mètres.

Bremerhaven est le port des longs-courriers, principalement de la flotte du Norddeustcher Lloyd.

HAMBOURG (pl. VII, fig. 1)

Hambourg est situé sur l'Elbe, à 100 kilomètres de l'embouchure ; l'amplitude moyenne de la marée y est de 1,80 *m* ; mais avec les crues elle peut atteindre 6 mètres. La profondeur du chenal est de 7 mètres à basse mer.

Jusqu'en 1866, les navires s'amarraient dans le fleuve à des ducs d'albe et déchargeaient par des allèges. On construisit entre 1860 et 1870 les bassins de Sandthor et de Grasbrook sur la rive droite de l'Elbe. On a préféré les bassins de marée pour laisser toute facilité de communication aux bateaux qui trafiquent sur l'Elbe supérieure.

Le développement de Hambourg a suivi son entrée dans le système des douanes de l'Empire allemand, une partie du port restant franc. On construisit successivement sur la rive droite le Baaken Hafen et sur la gauche les bassins Hansa, India, Moldau, Petroleum, Saale et Spree.

Les canaux Zoll, Oberhafen et le Binnen Haven, situés en dehors des limites du port franc, assurent autour de l'enceinte libre un passage qui a nécessité pour le dernier bassin une coupée de 200 mètres exécutée avec une dépense de 50 millions. Le passage Zoll canal n'est séparé du port franc que par des ducs d'albe et des barrières flottantes. En y comprenant la rivière, les canaux et les bassins latéraux, la superficie du port franc est de 376 hectares ; les bassins pour les navires de mer occupent 130 hectares et ceux pour les bateaux de rivière 54 hectares. Autour des premiers il y avait, en 1894, 23,3 *km* de quais $\left(\text{rapport } \frac{1}{180}\right)$.

Cette situation est insuffisante pour les besoins de Hambourg et l'on va construire quatre nouveaux bassins à l'ouest du port franc dont deux immédiatement. L'un offrira de 7,30 à 9 mètres d'eau, l'autre seulement 3,75 *m*.

Le Baaken Hafen est le bassin le mieux outillé ; sa largeur moyenne est de 250 mètres ; la partie affectée aux voiliers est la plus large ; les navires s'y amarrent aux quais ainsi qu'aux ducs d'albe du centre.

COPENHAGUE (pl. VII, fig. 3)

La construction du canal de l'Empereur Guillaume menaçant la prospérité de Copenhague, la capitale danoise a installé un port franc, inauguré en 1895. Des terrains conquis sur la mer ont été transformés en un établissement maritime comprenant quatre darses dont la superficie couvre 24 hectares, avec 3830 mètres de quais $\left(\text{rapport } \frac{1}{163}\right)$ Ces bassins ont été construits dans une crique, l'Oresund, comprise entre l'île de Seeland où est bâti Copenhague et celle d'Amagor. Les profondeurs sont de 7,50 *m* dans les bassins central et du Nord, de 8 mètres et 9,40 *m* dans ceux de l'ouest et de l'est.

L'entrée est abritée au nord par une digue en forme d'accent circonflexe, de 460 mètres de longueur. Les navires entrent à l'est par un canal de 9 mètres de profondeur.

La *ville étrangère* comprend en outre un terrain de 36 hectares. Elle est environnée par un chemin fermé d'une double grille et il s'y est installé un certain nombre d'industries.

Copenhague aspire à être un port de distribution pour la Baltique ;

c'est dans cette mer le seul port à grand tirant d'eau où les paquebots de fort tonnage peuvent décharger.

LONDRES (pl. XIII, fig. 2).

Londres est à 70 kilomètres de l'embouchure de la Tamise. C'est actuellement le premier port du monde. Ses bassins sont la propriété de quatre compagnies, entre lesquelles ils se répartissent ainsi :

London and Saint-Katherine Docks, Victoria and Albert Docks,
Surrey Commercial Docks,
East and West India Docks, Tilbury Docks,
Millwall Docks.

Deux petits bassins sont indépendants : Limehouse (3,5 *ha*) et Railway dock (3 hectares).

London (1805) et Saint-Katherine Docks (1828). — Les deux bassins de Saint-Katherine, les plus centraux de la ville, ont une superficie de 4 hectares et communiquent avec un bassin de marée dont l'entrée sur la Tamise a 8,50 *m* de profondeur à haute mer, 13,60 *m* de largeur et 60 mètres de longueur.

Ils ne sont séparés que par une rue des deux London docks, qui communiquent avec la Tamise par trois entrées ayant de 7 à 8,50 *m* de profondeur. Leur superficie est de 16 hectares. Cet ensemble de bassins est entouré de vastes magasins ayant 45 hectares de surface et pouvant loger 200 000 tonnes de marchandises. Sous des voûtes on-peut placer 700 000 hectolitres de vins. Les magasins des laines, où s'opère le tiers du commerce de Londres, occupent 10 hectares.

Dans le bassin ouest des London docks existe une traverse.

La longueur des quais est de 5 kilomètres environ $\left(\text{rapport } \frac{1}{250}\right)$. Le niveau dans les bassins de Saint-Katherine est exhaussé par des pompes.

Albert et Victoria Docks. — Ces deux bassins sont situés dans un coude de la Tamise, vis-à-vis de Woolwich, à 11 kilomètres en aval du pont de Londres. Le bassin Victoria (1866) est le plus grand de Londres (900 $\times$ 300 mètres $=$ 27 hectares) ; la profondeur d'eau y est de 7,80 *m*. Des quais en charpente ou en fonte émergent de nombreuses estacades qui portent des magasins à deux étages. Le Victoria dock communique avec la Tamise par une écluse qui s'ouvre dans un petit bassin de mi-

marée de 6 hectares 1/2. Longueur des quais : 6230 m $\left(\text{rapport } \frac{1}{80}\right)$.

L'Albert Dock (1880) mesure (2260 × 150 mètres = 34 hectares), avec une profondeur de 8,20 m. Les murs de quai sont en béton ; comme son voisin, il est précédé d'un bassin de mi-marée, dit des Galions, de 6 hectares, qui communique avec la Tamise par deux écluses de 165 × 24 mètres avec 9 et 10,60 m de hauteur d'eau sur leur seuil. Ensemble les deux bassins ont 4 800 mètres de quais $\left(\text{rapport } \frac{1}{120}\right)$.

L'ensemble des bassins possède comme outillage 110 grues mobiles, 92 grues fixes, un coal-tip de 20 tonnes, une grue flottante de 30 tonnes et une bigue de 60 tonnes. La force nécessaire est de près de 1 000 chevaux et le mouvement annuel des marchandises est de 2 200 000 tonnes, soit de 2 200 tonnes par cheval.

Les quais, à l'encontre de ceux de London et Saint-Katherine Docks, sont largement desservis par des voies ferrées.

L'Albert Dock est pourvu de deux cales de radoub, de 153 et 125 mètres. Dans le Victoria Dock se trouve un élévateur Edwin Clarke.

Les magasins établis sur les quais occupent une surface de 30 hectares et logent 270 000 tonnes de marchandises. La surface annexée aux docks est de 182 hectares.

L'écluse qui conduit au Victoria Dock n'a pas de radier. Ce bassin n'offre pas non plus de murs ; ses rives sont en talus à $\frac{2}{1}$ autrefois bétonnés, mais la maçonnerie a disparu par l'usure.

Surrey Commercial Docks. — Ce sont les plus anciens. Ils comprennent 10 bassins à flot pour marchandises générales et 6 bassins à bois, savoir :

Bassins à flot.

	Superficie *ha*		Superficie *ha*
Albion dock et un bassin de mi-marée	6,20	South dock	2,40
Canada dock	6,25	Greenland »	4,00
Island »	1,30	Norvay »	1,30
Stave »	2,30	Lady »	3,50
Russia »	5,60	Au total :	32,85 *ha*

Bassins à bois.

	Superficie ha		Superficie ha
Canada pond	2,80	Globe pond	2,25
Quebec »	5,40	Lavender »	8,00
Centre »	4,80	Acorn »	5,75

ou 29 hectares. La surface totale d'eau est donc de 62 hectares. La longueur des quais est de 8 400 mètres pour les bassins généraux $\left(\text{rapport } \frac{1}{250}\right)$. Il n'y en a que 2 800 pour les bassins à bois.

Quatre écluses seulement réunissent ces bassins à la Tamise. Leur longueur varie de 63 à 93 mètres et leur largeur de 10,40 à 23 mètres. Il existe des hangars pour les bois de valeur et des magasins à blé, seules marchandises que reçoivent ces bassins.

East and West India docks. — Dans la presqu'île des Chiens, à 3 800 mètres en aval du pont de Londres.

Les West India docks comprennent trois bassins à flot parallèles, d'une superficie totale de 38 hectares, avec 63 hectares de terrains annexés.

Bassin Nord pour l'importation (800 × 150 mètres). — Bassin du Centre pour l'exportation (800 × 120 mètres). — Bassin du Sud (815 × 135) avec 8,70 *m* d'eau, presque spécialisé à la laine.

Les bassins du Nord et du Centre communiquent avec l'avant-bassin de Blackwall (2,75 *ha*) qui s'ouvre sur la Tamise par une écluse de 13,50 *m*. Ils sont aussi réunis au bassin Limehouse, dont l'écluse a 10,60 *m* de largeur.

Le bassin du Sud communique avec la Tamise par une écluse de 13,50 *m*; il débouche aussi dans un avant-bassin (2,20 *ha*) relié à celui de Blackwall, au nord duquel se trouve le Railway Dock.

Les East India Dock comprennent trois bassins : du Nord pour l'importation (7 hectares), du Sud pour l'exportation (3,25 *ha*) et un bassin de marée (2,40 *ha*) relié à la Tamise par deux écluses. Ce dernier est approfondi à 10 mètres; sur ses quais du nord et de l'est se trouvent de vastes magasins, dont les grues roulantes sont au premier étage.

La longueur collective des quais est de 9 500 mètres, la surface totale d'eau 50 hectares $\left(\text{rapport } \frac{1}{190}\right)$.

Millwall Docks. — Se trouvent également dans la presqu'île des Chiens, au sud des West India Docks. Se composent de deux bassins à angle droit, de 14 hectares. Les quais ont 3 000 mètres de longueur $\left(\text{rapport } \frac{1}{210}\right)$. L'écluse a un sas de 135 mètres de longueur, 24 mètres de largeur, avec une profondeur d'eau de 8,40 *m*.

C'est là qu'existe l'installation pour les grains qui a été décrite. Le dépôt des grains a près de 350 mètres de longueur. La machinerie hydraulique est très bien comprise. Un bassin de radoub de 128 mètres est annexé aux docks.

Docks de Tilbury (pl. IX, fig. 3). — Les docks de Tilbury, à 26 milles en aval de Londres, appartiennent à la Compagnie des West et East India Docks, qui a créé cet établissement pour recevoir les grands navires auxquels leur tirant d'eau ne permet d'atteindre Londres qu'à haute mer. Ils comprennent un bassin de marée et un bassin à flot qui se ramifie en trois branches par la projection de deux traverses.

Le bassin de marée, de 7 hectares de superficie, communique avec la Tamise par une coupure de 110 mètres de largeur, bordée d'estacades en ailes. On y a établi des débarcadères pour les passagers, un appontement pour le charbon. La profondeur y varie suivant la marée de 7,60 *m* à 13,50 *m*.

Le bassin principal a 540 sur 180 mètres. Chacune des branches a 480 mètres de longueur; la largeur est de 90 mètres pour celle du milieu et de 75 mètres pour les latérales. La surface d'eau totale est de 21 hectares. La longueur utile des quais, de 3700 mètres, permet l'accostage de 31 navires de 120 mètres.

L'écluse qui relie les bassins a 215 mètres de longueur utile et peut se diviser en deux sas de 170 et 45 mètres, avec 13,40 *m* d'eau sur le seuil en hautes mers de vive eau. Parallèlement à cette écluse existent deux bassins de radoub de 266 mètres de longueur et qui peuvent au besoin être utilisés également comme écluses. Chacune de ces formes est à volonté divisée en deux portions, de sorte qu'il y a réellement quatre cales de radoub ayant 90 — 120 — 135 et 150 mètres de longueur, et très commodes par leur double entrée, l'une dans le bassin à flot, l'autre dans celui de marée. La largeur de ces formes est de 21,35 *m*, avec 10,60 *m* d'eau sur le seuil.

Les cales de radoub exigent quatre pompes centrifuges, dont deux ont 1,50 *m* et les deux autres 1,35 *m* de diamètre. Elles élèvent onze

mètres cubes d'eau par seconde et vident les formes en une heure. Des pompes plus petites, donnant 75 litres par seconde, enlèvent l'eau que laissent entrer les fuites.

Les écluses sont fermées par des portes ordinaires, les cales de radoub par des bateaux-portes, tant à leurs extrémités qu'aux points de division.

Vingt-quatre navires accostent le long des traverses; à chacun d'eux est attribué sur le quai un hangar de 100 mètres sur 36, à double toit.

La puissance hydraulique est fournie par trois paires de machines horizontales compound à condensation par surface, chacune de 100 chevaux. Ensemble elles peuvent fournir 37,5 *l* par seconde sous la pression de 52 kilogrammes par centimètre carré. Cette eau s'accumule dans deux accumulateurs de 50 *cm* de diamètre et 6 mètres de course. Deux accumulateurs secondaires, de 43 *cm* et 5 mètres, servent à régulariser la pression. La conduite comprend 5 600 mètres de tuyaux de 125 *mm* et 1 700 mètres de 100 *mm*.

L'éclairage se compose de 80 lampes à arc de 3 000 bougies et 1 630 lampes à incandescence de 16 à 32 bougies. Les dynamos sont actionnées par cinq machines de 500 chevaux.

Les voies ferrées pénètrent partout sans l'aide de tables tournantes.

Résumé. — Le port de Londres est imposant par ses résultats; mais les bassins sont anciens et l'outillage, si complet qu'il puisse être, s'utilise dans de mauvaises conditions. Il est probable que l'accroissement des dimensions des navires conduira à la construction de nouveaux bassins comme ceux de Tilbury. Il faudra aussi songer au dragage de la Tamise, dont les bancs augmentent. Nulle part on ne peut prévoir plus de travaux que n'en nécessitera Londres au siècle qui s'ouvre.

LIVERPOOL (pl. XIII, fig. 1).

Liverpool est situé sur la rive droite de la Mersey qui se jette dans la Mer d'Islande; il est sur les bords du chenal d'un kilomètre et un quart de largeur, qui réunit à la mer la lagune intérieure.

L'embouchure est affectée d'une barre sur laquelle il n'y avait naguère que 2,75 *m* d'eau ; un chenal a été approfondi par la drague à 8 mètres, de sorte que les navires entrent à tout état de la marée.

Les bassins sont rangés le long du chenal, sur une longueur de cinq kilomètres. Ils sont partagés en deux séries ; dans chacune d'elles tous les bassins communiquent ensemble ; elles sont séparées par la place le long de laquelle est le grand ponton-débarcadère.

Les bassins sont nombreux à Liverpool, mais les anciens surtout sont très petits, mal outillés et pourvus d'écluses à seuil très élevé. Un certain nombre vont être incessamment démolis et remplacés par d'autres, mieux appropriés aux besoins des grands navires modernes. C'est la nouvelle distribution qui est ici décrite.

La première série comprend du sud au nord les bassins suivants :

Herculanum, Harrington, Toxteth, Union, Queen's, Wapping, Salthouse, Albert, Canning, Georges.

Le second groupe comprend :

Prince's, Waterloo, Victoria, Trafalgar, Clarence, Salisbury, Collingwood, Nelson, Branley Moore, Wellington, Huskisson, Canada, Carriers, Brocklebank, Langton, Alexandra, Hornby.

Ces bassins communiquent avec la rivière par un grand nombre de passes, dont les unes débouchent dans des bassins de marée qui facilitent beaucoup les manœuvres d'entrée et de sortie des bâtiments.

La largeur des nouvelles écluses d'Herculanum dock a été limitée à 24 mètres ; celle du Canada dock a 30 mètres, mais les anciens bassins ont des largeurs bien moindres.

La spécialisation des bassins est presque complète. Herculanum et Canada sont affectés au bois de charpente, Brunswick reçoit les navires du Honduras et de Terre-Neuve, Union le coton et les bois de teinture, Corn et Waterloo le blé, Wapping le coton et le jute, King's le tabac, etc.

Dans ces conditions, des accommodations spéciales sont faites suivant la nature de la marchandise.

L'outillage est peu développé.

SOUTHAMPTON (pl. XVI, fig. 2).

Il est peu de ports dont l'importance ait autant grandi que Southampton durant ces dernières années, depuis l'acquisition des anciens bassins par la Compagnie « London and South Western Railway ».

A ses anciens docks (Outer dock, 1843 et Inner dock, 1851) s'est ajouté l'Empress Dock (1890) qui n'est d'ailleurs qu'un bassin de marée, mais le seul de l'Angleterre où tout navire actuel peut entrer et

opérer à toute heure, la profondeur aux plus basses mers étant de 9,15 *m*.

Ce bassin a la forme d'un losange dont les côtés ont 260 mètres de longueur; on a déjà dit que cette forme, imposée par les circonstances, s'était montrée très commode pour l'exploitation. La surface est de sept hectares et demi et la longueur des quais 1 050 mètres, soit 1 hectare pour 140 mètres.

La facilité d'accès de l'Empress Dock en a fait le siège de la ligne transatlantique américaine, et pour ses navires on a construit le grand bassin de radoub de 228 mètres de longueur qui a été déjà décrit, et où peuvent entrer les plus forts bâtiments actuels.

Trois autres formes, plus petites, existent dans l'Outer Dock.

Southampton est abondamment pourvu de magasins à blé, de hangars, de chambres réfrigérantes pour la réception de la viande, d'installations pour l'approvisionnement du charbon.

En 1897, 3 091 navires, jaugeant 2 262 260 tonneaux, sont entrés dans les bassins.

Ainsi qu'on le sait, l'accès en est facilité par la double marée qui assure à Southampton une étale de près de quatre heures. L'entrée, située au confluent de deux rivières, dans le canal qui sépare l'île de Wight du Continent, le Solent, est exceptionnellement protégée.

SUNDERLAND (pl. XV, fig. 3).

Le port de Sunderland ne se composait primitivement que de l'estuaire de la rivière Weser dont l'entrée était facilitée par deux jetées parallèles. La profondeur n'était que de 1,25 *m* et le sable, dépassant les musoirs, encombrait l'entrée.

Plus tard, on a conquis au sud sur la mer un terrain en provoquant les atterrissements par la construction de sept épis, et sur ce terrain on a creusé trois bassins (Hendon et Hudson sud et nord), dont les déblais ont constitué un mur de mer qui a réuni les extrémités des épis.

Ces bassins sont précédés d'un avant-port formé par deux môles laissant entre eux une passe de 70 mètres. Il existe une entrée particulière pour le bassin Hendon ; l'autre munie d'un *wave screen* et d'une écluse de mer donne accès aux deux autres bassins.

Le bassin Hudson nord communique aussi avec la Wear par un

bassin de mi-marée ; sur cette rivière on trouve encore un bassin, dit du Nord.

L'ancienne entrée a été améliorée par la construction d'un avant-port de 50 hectares délimité par deux môles, l'un de 866 mètres, l'autre de 850 mètres. Du premier, celui du sud, 560 mètres sont terminés, de l'autre 807 mètres [1]. La passe sera de 150 mètres, elle aura 11,50 *m* de profondeur aux hautes mers (amplitude : de 3,30 à 4,25 *m*).

Le port de Sunderland est remarquable par le discernement avec lequel ont été poursuivis les travaux d'amélioration.

Les quais de l'ouest sont uniquement consacrés à l'embarquement du charbon, par des *staiths* ou estacades au nombre de trente.

NEW-YORK (fig. 375).

Le port de New-York comprend l'ensemble des eaux qui entourent la cité : une partie de l'Hudson, de la rivière de l'Est, du fleuve Harlem, des baies Supérieure et Inférieure situées l'une en dedans, l'autre en dehors du détroit « les Narrows » entre Long Island, Staten Island et les côtes de New-Jersey.

Il possède une entrée par la Rivière de l'Est et Hell Gate, qui conduit au Long Island Sound et est fréquentée par les bâtiments qui trafiquent entre New-York, les États de l'Est et les possessions anglaises d'Amérique. L'entrée principale est par les Narrows ; elle aboutit à la Baie Inférieure entre Long Island et Sandy Hook ; c'est le chenal principal (Main Ship Channel) qui se dirige au sud jusqu'à 2 kilomètres de Sandy Hook, puis se coude à angle droit pendant 7 kilomètres jusqu'au chenal de Gedney et de là à la mer.

Entre les Narrows et New-York il n'y a nulle part moins de 11 mètres d'eau ; mais en dehors les profondeurs varient de 7 mètres à 7,90 *m* dans les chenaux, et la marée est au plus de 1,40 *m*.

En 1884, le Congrès vota un million de francs pour l'approfondissement du chenal de Gedney (7 mètres). Le corps des Ingénieurs officiels soutenait que le seul moyen d'obtenir cet approfondissement était la construction d'un môle qui, partant de Coney Island, se serait dirigé vers le SSE. sur 7 kilomètres. Il fallait également protéger la pointe de Sandy Hook, contre laquelle on aurait rejeté les courants.

1. Renseignements dus à l'obligeance de l'ingénieur du port, M. Henry Hay Wake.

Seul, le colonel Gillespie voulait essayer du dragage ; les termes du vote du Congrès étaient d'ailleurs formels : l'argent ne pouvait se dépenser que dans des travaux d'approfondissement. On essaya donc du dragage ; on traita avec un entrepreneur qui pensait pouvoir enlever les matériaux du fond à l'aide de la projection de masses d'eau comprimée par des pompes, laissant aux courants le soin d'entraîner les matières

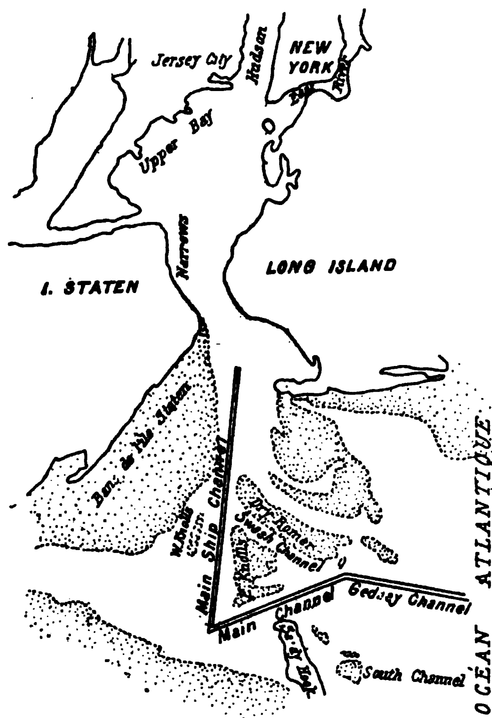


Fig. 375. — Port de New-York.

ainsi mises en suspension. Après un mois d'efforts inutiles, on renonça au procédé et l'on confia le dragage aux pompes aspirantes Cataracte de M. Joseph Edwards. Avant l'épuisement du crédit, les résultats étaient tels qu'on avait écarté l'idée du môle. L'hiver ayant démontré que les tempêtes n'avaient pas d'action nuisible sur le maintien des profondeurs obtenues, on continua les dragages, qui ont donné, après achèvement en 1891 et enlèvement de 3 705 000 mètres cubes de déblais, un canal de 9,15 *m* de profondeur.

Ce grand succès a déterminé le Congrès à voter les fonds nécessaires à l'approfondissement du chenal Swash qui est plus direct, et auquel on donnera 12 mètres de profondeur.

CHICAGO (pl. XI, fig. 1).

Parmi les ports situés sur les grands lacs de l'Amérique, celui de Chicago occupe sans doute le premier rang et son mouvement commercial annuel dépasse sept millions de tonnes. Le plan indique la disposition des nouveaux bassins qui y ont été créés et les ouvrages destinés à leur protection ; mais les opérations s'effectuent surtout dans la rivière de Chicago, très encombrée et dont le mouillage ne peut excéder 4,80 *m* à cause des tunnels qui la traversent. Il faut dire que dans le bassin extérieur, les dragages, dont la profondeur devrait atteindre 6 mètres, ont dû être arrêtés à cause d'un procès. Mais le litige touche à son terme et sans doute la grande ville pourra ensuite avoir un port digne d'elle.

BUENOS-AYRES

Buenos-Ayres, une ville de 700 000 habitants, est bâtie sur la rive droite de la Plata, dont la profondeur est loin d'être en rapport avec la largeur. A 20 kilomètres de la capitale, on ne trouve que six mètres d'eau. La marée ordinaire d'un mètre est parfois beaucoup plus considérable. Sous l'influence des rafales du sud connues sous le nom de *pamperos*, le niveau est tombé jusqu'à 2,50 *m* au-dessous du zéro.

Un port devant Buenos-Ayres comportait donc l'établissement d'un canal qui allait rejoindre les grandes profondeurs ; les dépenses eussent été trop considérables pour obtenir 8 mètres ; on s'est borné à 6 mètres. Quant aux bassins, afin que les navires n'y fussent pas exposés à toucher en cas de baisse considérable des eaux, il fallait les creuser à 8 mètres, ou les maintenir à flot. C'est à la dernière solution qu'on s'est décidé.

Le canal qui part des fonds de 6 mètres (la Barre) se partage en deux portions qui vont rejoindre les deux entrées nord et sud des bassins. Au sud, il y a un avant-port continué par un bassin de marée ; c'est le bassin de marée qui constitue lui-même l'avant-port au nord. Ces deux bassins sont réunis par quatre autres, à flot.

Ils ont tous la forme de rectangles allongés, excepté le bassin du nord, presque carré.

Leurs dimensions sont les suivantes :

Bassin du sud. . .	14 hectares		
Dock N° 1. . .	9	»	ensemble 39 hectares.
» » 2. . . .	9	»	
» » 3. . . .	11	»	
» » 4. . . .	10	»	
Bassin du nord . .	16	»	

Il y a 155 mètres de quais par hectare d'eau.

Les écluses ont 6,70 *m* d'eau sur le seuil; leur largeur est de 20 et 25 mètres, avec sas de 135 et 155 mètres; celle du nord est la plus grande.

Le nombre des magasins actuels est de treize avec une capacité de 525 000 mètres cubes et une surface de parquet de 230 000 mètres carrés. Il existe également plusieurs hangars.

Toutes les manœuvres s'exécutent par l'eau sous pression; les moteurs développent 900 chevaux. Ils compriment l'eau dans trois accumulateurs de 50 *cm* de diamètre; l'un d'eux a une course de 10,60 *m*, les deux autres de 7,20 *m*.

Il existe deux bassins de radoub de 150 et 180 mètres de longueur, 20 mètres de largeur et 6 mètres d'eau sur le seuil, fermés par des bateaux-portes.

Les travaux ont coûté 180 millions.

On peut se demander si, en comparaison de cet énorme chiffre, les installations sont de nature à donner satisfaction aux progrès réalisés chaque jour dans les dimensions des navires.

CHAPITRE XXXV

PORTS DE REFUGE ET PORTS MILITAIRES

PORTS DE REFUGE

L'établissement de ports de refuge sera certainement l'une des nécessités les plus vivement ressenties dans les pays nouveaux, où le trafic se fera longtemps par mer avant que les revenus permettent la construction de chemins de fer multiples. Une commission nommée en 1884 en Angleterre pour choisir entre les divers points de la côte orientale d'Ecosse le plus convenable pour un tel port a défini l'objet de sa mission en quelques lignes qui nous semblent parfaitement exposer la question ; en voici le résumé :

Définition. — Le terme « Port de refuge » a un sens général ou spécial.

Un port de refuge général doit être dans une position où à tout état de vent ou de temps les navires peuvent trouver un abri. Il doit offrir :

Facilité d'approche, avec entrée et sortie convenables.

Ancrage sûr en diverses profondeurs pour les besoins du commerce, de la pêche et pour une petite escadre de guerre.

Approvisionnements certains ; possibilité d'exécuter les réparations ordinaires.

Dispositions naturelles pour la construction d'ouvrages de défense.

Dans le sens spécial, il faut distinguer les ports de refuge nationaux et locaux.

La situation d'un port de refuge national est surtout déterminée par des considérations stratégiques et politiques. Il est à la fois un abri contre la tempête et l'ennemi. Ses conditions primordiales sont :

Position centrale pour la défense d'une partie importante de la côte et des bateaux qui la fréquentent, et en même temps pour l'observation des mouvements de l'ennemi.

Ancrage étendu et dans de grandes profondeurs.

En vue de la concentration des troupes et du matériel militaire, raccordement avec le réseau des voies ferrées ; facilités d'approvisionnement de charbon et de réparations d'une escadre.

Le port de refuge local, tout en présentant les caractères généraux de ces établissements, a ses dimensions, son tirant d'eau, etc., déterminés par les nécessités de la localité.

Position. — Un port de refuge doit-il être à l'extrémité d'un promontoire ou dans une baie ? La réponse dépend de la nature de l'abri. Pour un établissement local, la situation dans une baie sera certainement la plus avantageuse. C'est le contraire pour un abri servant au commerce général, à la marine de guerre.

On doit encore faire entrer en ligne de compte le nombre des naufrages survenus en tel ou tel point ; mais cette considération n'est que secondaire, comparée avec la possibilité de l'exécution dans des conditions économiques.

On a déjà vu, que la condition physique principale est la grande profondeur à tout état de marée.

Choix. — L'examen des divers points proposés pour la côte orientale d'Ecosse pouvant servir de type dans des cas analogues, nous donnons un résumé du rapport de la Commission :

Le plan annexé indique la situation des sept localités proposées, savoir : Scrabster Roads, Wick, Fraserburgh, Peterhead, Aberdeen, Stonehaven, Arbroath ; nous donnons également le plan de chacun des ports proposés. Ces plans étaient signés par des ingénieurs réputés.

Le choix de la commission s'est porté sur Peterhead dont les ouvrages, dessinés par M. Matthews et différents du plan ici publié, s'exécutent en ce moment. Les autres localités ont été évincées pour les raisons suivantes :

Scrabster Roads. — Présente tous les caractères d'un port local, mais ne saurait convenir à un établissement général comme celui que le gouvernement avait en vue.



Fig. 377. — Fraserburg.

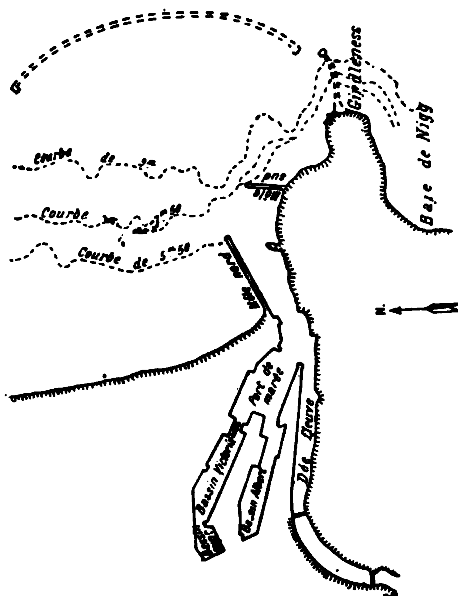


Fig. 378. — Aberdeen.

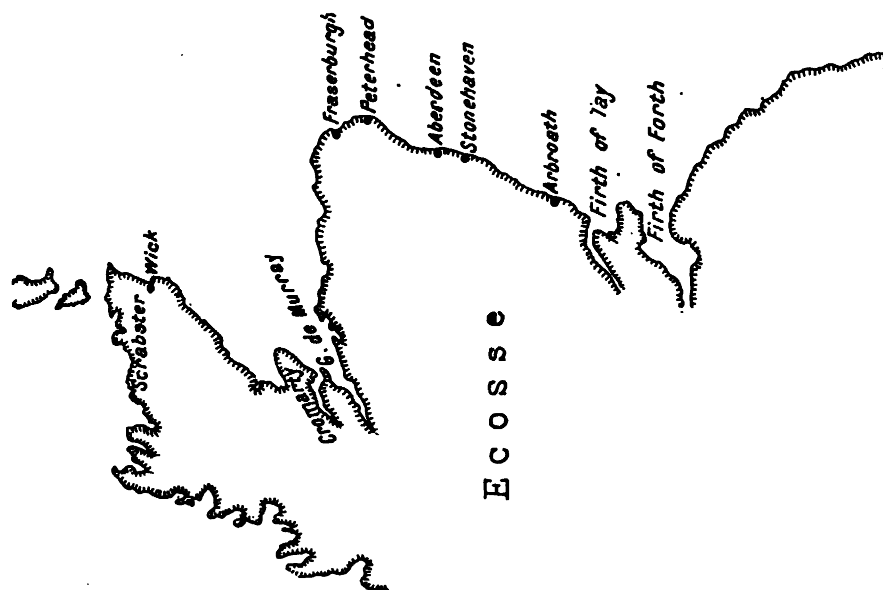


Fig. 376. — Plan général.

Wick. — Eloignement trop considérable des principaux centres de la côte, tels que Cromarty Firth et le Firth of Forth.

Fraserburgh. — Dépenses considérables et tendance à l'envasement.

Aberdeen. — Dépenses considérables. Situation dans une baie ; envasement probable par la rivière.

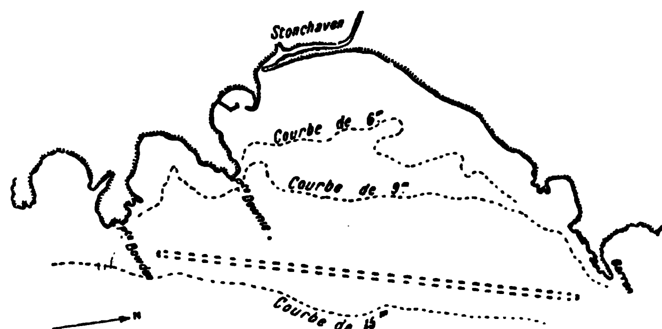


Fig. 379. — Stonehaven.

Stonehaven. — Ne pourrait convenir qu'à un établissement local.

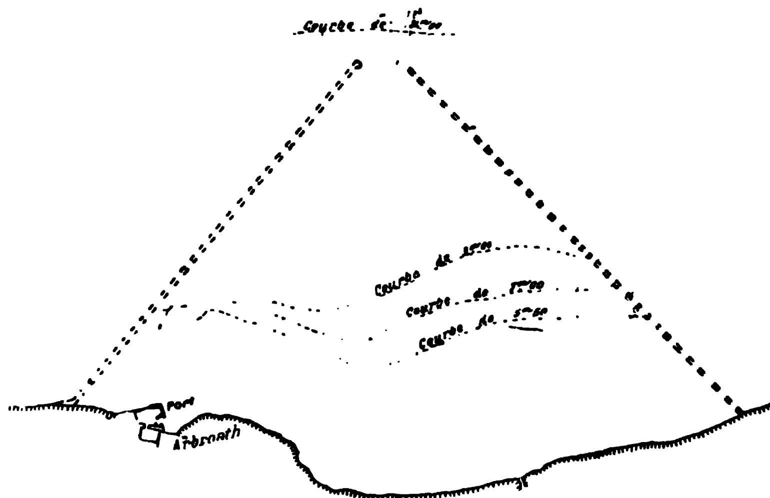


Fig. 380. — Arbroath.

Arbroath. — Travaux très importants à exécuter.

Le choix de Peterhead a été dicté par les considérations suivantes :

Peterhead. — Position avantageuse au point de vue du commerce général, à la pointe la plus saillante de la côte et à égale distance des grands ports naturels des Firths de Forth et de Cromarty. L'avantage de cette position n'a fait que grandir par suite de nouveaux courants commerciaux.

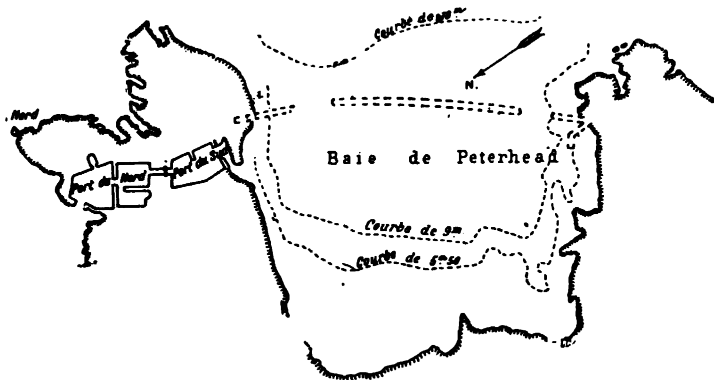


Fig. 381. — Peterhead.

Ancrage considérable et sûr; fond de vase recouverte de sable. Un navire mouillé dans les profondeurs de 13 mètres avec 75 mètres de chaine tient sur son ancre à pleine vitesse de ses machines.

Absence de courants à l'intérieur de la baie. A l'extérieur ils sont au contraire très violents.

Le port de refuge de Peterhead adopté après une minutieuse enquête, s'exécute depuis quelques années, avec la main-d'œuvre des condamnés écossais. Le môle est bâti en blocs artificiels de 50 tonnes posés en assises inclinées par le Titan décrit volume I, page 388.

DIVERS PORTS DE REFUGE.

Douvres. — Douvres ne possédait jusqu'en 1847 qu'un petit port à jetées en charpente presque parallèles, comprenant un avant-port et les deux bassins à flot Granville et Wellington. De 1847 à 1871 fut construit le « Môle de l'Amirauté » qui jusqu'ici a servi à l'accostage des vapeurs des divers services du continent (lignes de Calais et d'Ostende).

Les navires se rangeaient le long de la face est du môle pendant les vents régnants du SO. et étaient suffisamment protégés, même avec assez grosse mer. Avec de faibles vents de l'Est et du NE. on abordait

à l'Ouest, le long d'estacades en bois ; mais quand le vent soufflait de l'Est, les deux faces du môle étaient exposées, et l'atterrissement devenait difficile.

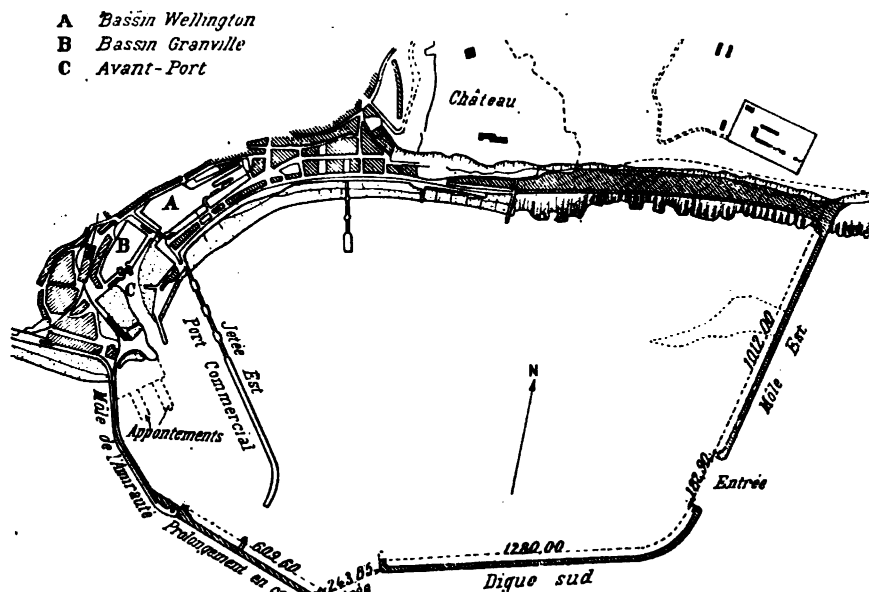


Fig. 382. — Port de Douvres.

En 1891, le Dover Harbour Board demanda à sir John Coode des plans d'amélioration, dont l'exécution commença l'année suivante, par la construction du môle Est. Trois ans après, l'Amirauté se décida à construire le grand port de refuge projeté depuis longtemps à Douvres, surtout comme point d'appui de la flotte militaire.

La figure 382 donne le plan adopté par les ingénieurs du port, MM. Matthews et Charles Coode, et dont les dépenses sont estimées à 90 millions de francs ; l'adjudication des travaux a eu lieu en 1897.

Avec une légère modification on y a conservé le projet restreint de sir John Coode, sous le nom de Port de commerce, dont le môle est devenu un môle intérieur. Dans le petit avant-port ainsi réservé, les vapeurs du service continental seront plus à l'abri que les vaisseaux de la flotte dans l'immense enceinte du port de guerre et de refuge.

Le projet complet comprend :

1° La prolongation du môle de l'Amirauté sur une longueur à peu près égale à celle de l'ancien ouvrage (610 mètres) et dans la direction ESE.

2° Un grand môle de l'Est (East Arm, bras de l'Est) partant du pied des falaises, à une distance de 2 650 mètres de l'enracinement du môle de l'Amirauté, et s'étendant vers le SO. sur une longueur de 1 010 mètres.

3° Une digue de 1 280 mètres de longueur, continuant d'abord le bras de l'est, puis se dirigeant de l'Ouest vers l'Est.

Les deux môles et la digue laissant entre eux deux entrées, la première, celle de l'Est, a 183 mètres de largeur, la seconde 245 mètres. Ainsi qu'on le voit sur le plan, celle-ci est protégée par le prolongement du môle de l'Amirauté, qui déborde sur le musoir de la digue en portant son propre musoir à 125 mètres plus au sud. Cette disposition a pour but d'abriter les navires à l'entrée, quand le courant vers l'Est atteint son maximum qui est de 4 nœuds. Elle facilite aussi la manœuvre des bâtiments pendant les gros temps du SO.

Quant au port commercial, il sera abrité à l'Est par le môle intérieur, long de 920 mètres ; la première portion, près de terre, a 415 mètres et est construite en viaduc métallique, afin de laisser les vagues pénétrer en partie dans l'enceinte abritée et ne pas frapper aussi fort le quai placé à l'angle du môle. Celui-ci se courbe à son extrémité vers le môle de l'Amirauté, duquel part un court épi qui ne laisse à la passe que 145 mètres de largeur.

Au fond du port commercial s'ouvre l'entrée des bassins intérieurs ; à l'Ouest de cette passe sera conquis sur la mer un terre-plein d'où se détacheront deux traverses longues de 120 mètres et larges de 30 mètres, pour l'accostage des paquebots, qui y trouveront toujours 4,50 *m* d'eau aux plus basses mers.

La longueur totale des môles à construire est de trois kilomètres pour le port de guerre ; la superficie en sera de 245 hectares, sans compter les 30 hectares du port commercial. Sur cette vaste superficie, 130 hectares auront plus de 9 mètres d'eau et 70 hectares plus de 11 mètres. La digue sera construite par les fonds de 13 mètres.

Le long du rivage, à l'ouest du bras de l'Est, on construit un quai de 1 175 mètres de longueur, qui servira de retenue à un terre-plein, où seront établies les constructions du futur port de guerre.

On n'a d'abord entrepris que le môle est intérieur, et il en est résulté un grand trouble dans les opérations du port. Les vagues des grosses mers, poussées par les vents du SO. viennent frapper la face occidentale de ce môle et déterminent un violent ressac contre le môle de

l'Amirauté, de sorte qu'à maintes reprises durant l'hiver dernier les

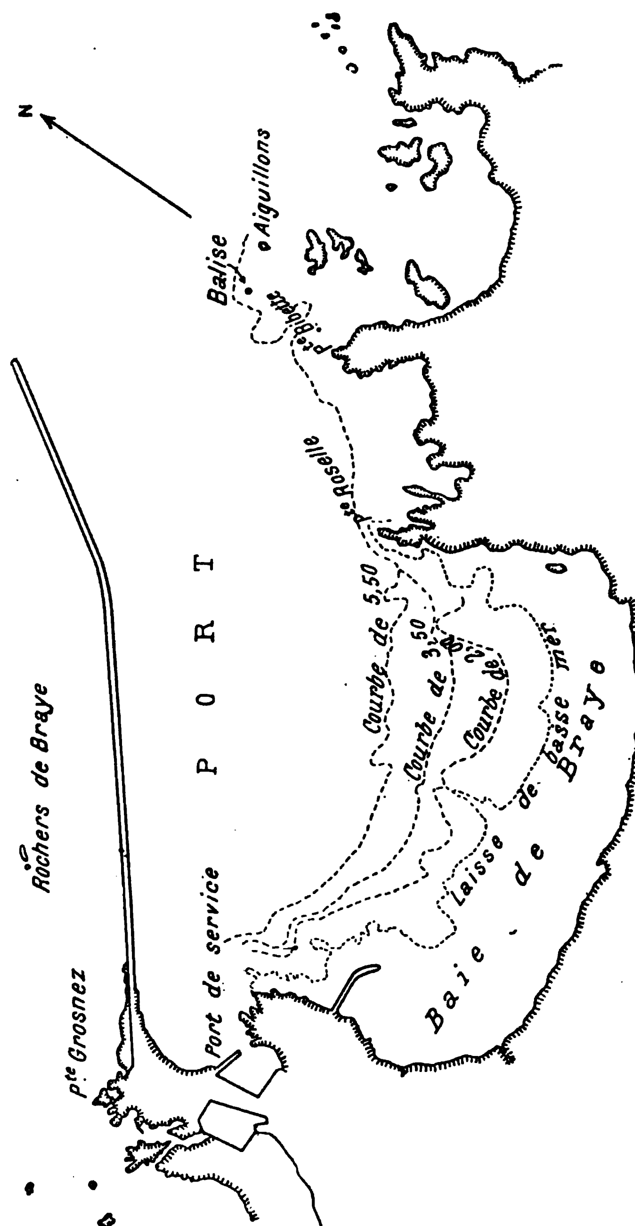


Fig. 383. — Alderney.

paquebots n'ont pu y accoster. Le ressac s'est accentué à mesure de l'avancement des travaux.

Cet inconvénient disparaîtra quand sera terminé le prolongement du môle de l'Amirauté, qu'on a commencé en 1898 ; en attendant qu'il soit fini, on compte sur les nombreux pieux des échafaudages pour briser en partie la violence des vagues (1).

Alderney. — On a déjà vu le but poursuivi par la création du port d'Alderney : « Veiller sur Cherbourg et le cap de la Hague et bloquer la Manche avec deux escadres dont l'une à Portland et l'autre à Alderney, situé à 15 kilomètres de la côte française ». Il s'agissait donc de créer un port national de refuge. On a dépensé plus de 30 millions dans ce but sans obtenir aucun résultat (fig. 383).

Ainsi que l'indique le plan, le môle de protection, comme celui d'Holyhead, est concave à l'extérieur. Cette forme tient dans les deux cas à des agrandissements consécutifs aux premiers travaux. Il était impossible d'allonger le môle sans tomber sur les rochers ; force fut donc de s'incliner vers le large. Or, justement à Alderney les tempêtes viennent surtout de l'Ouest et toute la furie des vagues se concentrait sur le point faible déterminé par la courbure vers la haute mer, forme contraire à celle qui aurait dû être adoptée.

Si de la pointe Grosnez le môle s'était dirigé vers les rochers de Braye, puis qu'on fût revenu vers le musoir établi, l'ouvrage aurait été dans de bien meilleures conditions.

En tout cas, il semble que le port, tel quel, avec sa largeur réduite, n'eût pas répondu à l'attente du Gouvernement anglais.

La question de fermer la large entrée par un môle partant de la pointe Roselle ou de la pointe Bibette a été agitée, sans avoir été résolue.

Nantucket. (fig. 384). — Le port de Nantucket est amélioré comme refuge pour les navires qui font le cabotage dans le détroit de même nom. Deux môles convergents en enrochements formeront l'entrée du petit havre qui rendra d'immenses services à la navigation. Le dragage aidant on portera de 2 à 4 mètres la profondeur de la passe. Le travail coûtera moins de deux millions.

Sandy Bay. (fig. 385). — Sandy Bay est situé à l'extrémité septentrionale du cap Ann, dans le Massachusetts. Ses rives se rencontrent presque à angle droit, l'une courant du Nord au sud, l'autre de l'Est à l'Ouest. Elles sont montagneuses et protègent très bien de leur côté

1. Renseignements dus à l'obligeance de M. l'ingénieur Ch. Coode.

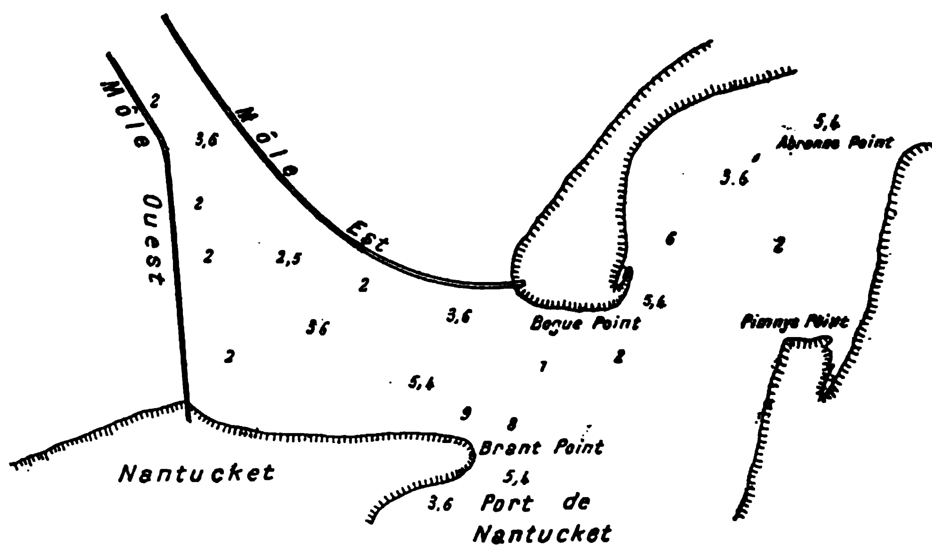


Fig. 384. — Nantucket.

la baie, qui en revanche est ouverte aux gros temps du NE., dont les lames sont pourtant en partie brisées par divers écueils.

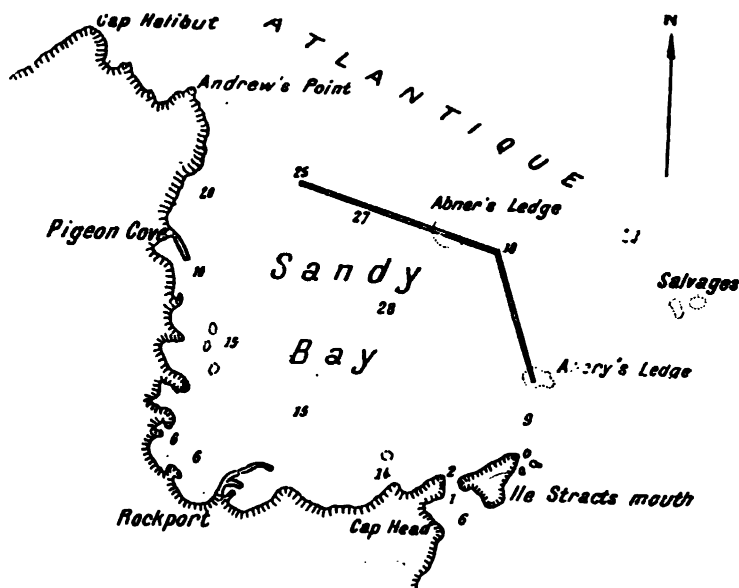
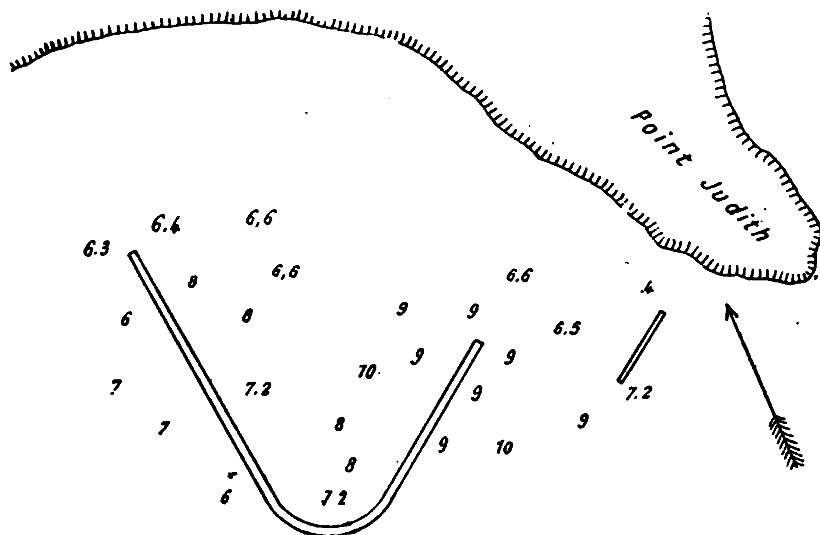


Fig. 385. — Sandy-Bay.

La digue de protection, de 2 700 mètres de longueur, est divisée en deux parties : l'une part du banc désigné sous le nom de Avery's Ledge

et atteint Abner's Ledge ; l'autre va de ce récif vers Andrew's Point. La



[Fig. 386. — Point-Judith.

profondeur moyenne le long de l'ouvrage est de 26 mètres.

Le port de refuge aura deux entrées : celle du Sud a 550 mètres de largeur et au moins 9 mètres d'eau. Celle du Nord a 820 mètres avec 24 mètres de profondeur. De cette façon les navires peuvent entrer avec toute aire de vent par l'une ou l'autre passe. La superficie couverte offrant au moins une profondeur de 7,25 *m* est de 550 hectares.

La dépense totale de la digue atteindra 25 millions de francs. Une somme égale à la moitié de la précédente sera consacrée au balisage, à l'éclairage et à la défense du port.

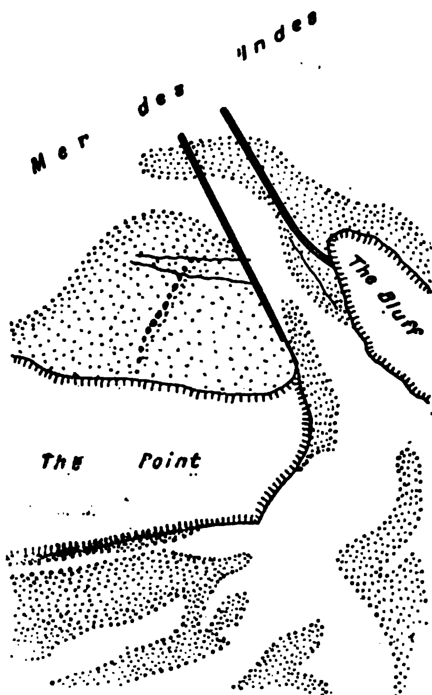


Fig. 387. — Port-Natal.

Deux petits ports sont installés dans l'espace abrité.

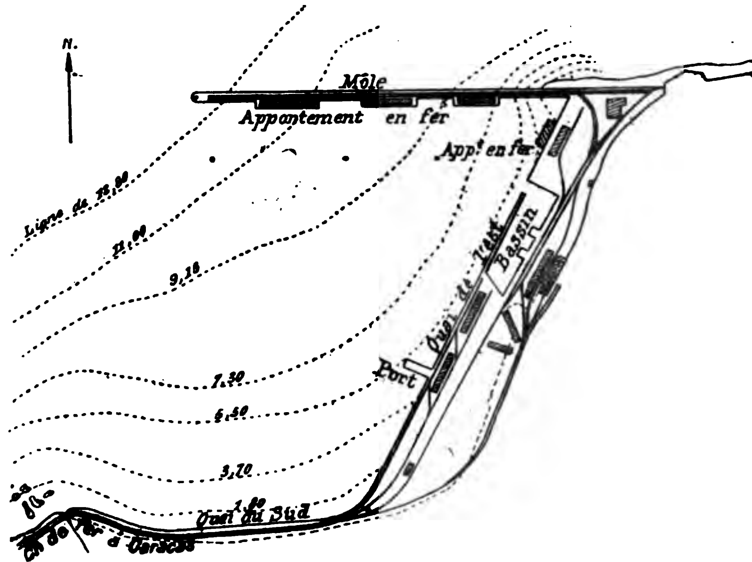


Fig. 388. — La Guaira.

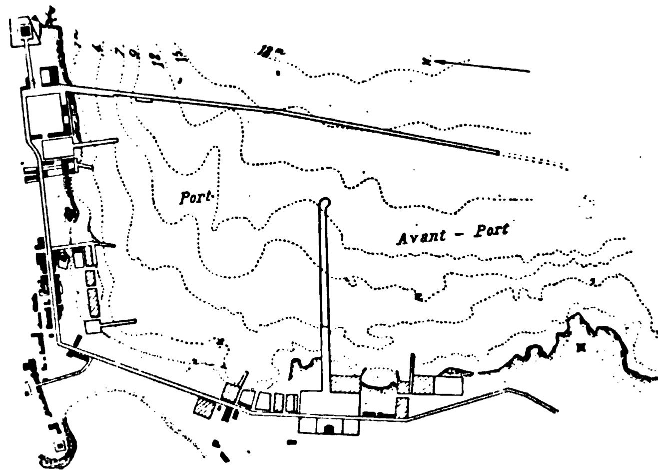


Fig. 389. — La Luz.

Nous donnons ici les plans des ports de Point Judith, de Port Natal, de la Guaïra et de la Luz dont il a été question à plusieurs reprises dans cet ouvrage.

PORTS MILITAIRES

On a vu ci-dessus une partie des conditions auxquelles doit satisfaire un port militaire. La principale est la facilité d'accès. Une flotte qui se porte au devant d'un ennemi ou qui rentre après la bataille ne doit éprouver aucun retard, car quelques minutes de perdues peuvent avoir pour résultat un désastre.

Un navire échoué au milieu d'un chenal coupe en deux une escadre. Si elle sort, elle se présente à l'ennemi en état d'infériorité ; si elle est poursuivie, l'un des tronçons reste exposé seul aux attaques de l'adversaire.

Largeur de l'entrée. — La passe d'entrée doit donc être assez large pour mettre à l'abri de pareils accidents. Or, à Suez, dans le canal de 22 mètres de plafond, les échouements même de navires de dimensions moyennes, étaient quotidiens. Pourtant, les pilotes étaient très expérimentés, car ils avaient chaque jour un navire à conduire, et leur service s'exécutait avec sang-froid. Dans les fortes bourrasques les navires pouvaient s'amarrer aux berges et attendre.

Les vaisseaux n'auraient pas à quitter tous les jours un port militaire et pourtant à la sortie de l'escadre il faudrait un pilote à chaque bâtiment. Leur inexpérience serait complète. L'escadre ne serait pas maîtresse de choisir son moment, surtout pour rentrer ; et enfin les timoniers, en rentrant de la bataille, non seulement n'auraient plus le calme de ceux de Suez, mais encore auraient à se servir pour gouverner d'apparaux désemparés.

Ce n'est pas tout encore que de pouvoir franchir sans danger le chenal ; celui-ci peut être bouché par un ennemi audacieux. L'exemple du *Merrimac* à Santiago de Cuba aurait des imitateurs.

Enfin les navires ne peuvent pas sortir un à un pour marcher au devant d'un ennemi occupé à bloquer le port. Ils doivent s'éloigner assez de terre pour n'avoir pas à craindre de s'échouer. Ils sont exposés à se trouver aux prises avec plusieurs vaisseaux et à être détruits avant l'arrivée des secours. Des batteries de terre ne seraient pas suffisantes pour empêcher cette éventualité.

Donc large entrée, c'est la première condition du choix d'une station militaire ; il ne faut pourtant pas qu'elle le soit trop, car un ennemi entreprenant pourrait y pénétrer.

Profondeur. — La passe d'entrée doit être accessible à toute heure de marée; en basses eaux elle ne peut donc avoir moins de 10 mètres pour les grands cuirassés. Entre les musoirs il faut prévoir un excédent de profondeur suffisant pour que la houle n'expose pas les bâtiments à talonner.

Protection. — Le site du port doit être à l'abri d'un bombardement. Les artilleurs seuls peuvent décider des dangers possibles, si le port est à créer près de la côte.

Utilité. — Le port militaire n'est pas seulement l'abri des flottes, le point où se construisent et se réparent les navires, où ils s'approvisionnent, c'est aussi souvent le lieu d'où l'on peut sortir rapidement pour se porter au secours d'un point menacé ; dans ce cas les considérations politiques priment les conditions physiques. Cherbourg est un exemple de création de genre.

Construction. — Les procédés de construction des ports militaires sont les mêmes que ceux des ports de commerce, mais la solidité, la durée sont des facteurs encore plus importants. Les dépenses ne sont pas bornées par les recettes possibles, elles n'ont de limites que les besoins de la défense nationale et les ressources du budget.

Mais il faut tenir compte du rôle très différent des deux genres de ports. En principe le navire de guerre doit être au mouillage, en rade aussi abritée que possible d'ailleurs. Il n'a rien à faire dans le bassin lui-même où il ne pourrait que s'avarier ; s'il y entre, c'est pour passer à la forme de radoub ou procéder à son armement sous les bigues ou les grandes grues : changement de chaudières, réparations des machines, modification de l'artillerie. Ce sont de rares éventualités, qui prennent peu de temps.

Le bassin n'a donc besoin que d'une superficie relativement très restreinte ; des dimensions considérables occasionneraient une dépense inutile et le résultat serait d'y diminuer la tranquillité. Aussi la surface des bassins à Kiel et à la Spezzia, qui sont presque les seuls centres d'armement des flottes allemandes et italiennes, car les autres ports militaires de ces puissances sont plutôt des stations, cette surface n'est-elle que de quelques hectares.

Portsmouth, l'arsenal colossal, n'avait il y a quelques années que

deux bassins très réduits et la superficie y est encore aujourd'hui assez restreinte.

La création de bassins dans la plupart des ports de guerre est d'ailleurs toute récente et plusieurs, même des plus importants comme Brest, Plymouth, n'en ont aucun.

Bassins. — Il est bon, lorsque la flotte est assez considérable, de partager en deux la surface des bassins ; une partie est consacrée uniquement aux réparations, l'autre à l'armement.

Dans la première débouchent les cales de radoub ; sur ses quais sont installés les ateliers mécaniques pour le travail du bois, du fer, etc. Des grues mobiles déposent à bord les pièces nécessaires.

Dans la seconde s'effectue la mise en place des chaudières, des machines, des canons, des mâts, etc. C'est là que les navires prennent leurs approvisionnements autres que le charbon. Les magasins sont disposés contre l'un des quais et les navires accostent directement au-dessous des fenêtres, d'où des monte-charges peuvent leur envoyer les objets.

L'ordre et la méthode sont de rigueur absolue. Chaque navire a ses cases spéciales ; car ce n'est pas au moment de la mobilisation qu'on pourra choisir ce qui lui convient. L'homogénéité d'une flotte a, comme un de ses nombreux avantages, celui d'éviter les erreurs.

Les magasins sont à plusieurs étages et la concentration vers les points de chargement doit être aisée.

L'approvisionnement de charbon ne se fait pas dans les bassins, mais au moyen d'appontements établis dans la rade.

Enfin les ateliers de corderie, de voilure, ceux où se fabriquent les pièces d'approvisionnement ne sont pas installés au bord des quais qui sont réservés aux travaux urgents. Ils sont répartis avec méthode dans les terrains annexés, qui constituent l'arsenal et qui sont environnés d'un mur élevé, percé de portes peu nombreuses.

Ecluses et bassins de radoub.—Les seuils des écluses et des bassins de radoub sont placés très bas, car le tirant d'eau des cuirassés est considérable ; la profondeur est de 11,80 *m* aux marées de morte eau à Portsmouth.

La largeur aussi de ces ouvrages est supérieure à celle de leurs similaires dans les ports commerciaux. A Portsmouth, c'est 24 et 25 mètres qu'on a jugés nécessaires. A Chatham, les écluses ont 25,72 et 28,80 *m*.

Le troisième bassin de radoub de Missiessy a 23,40 *m* de largeur à la base et 12 mètres de profondeur.

Le nombre des cales de radoub doit être considérable.

Rapport du développement des quais à la surface. — Il n'a aucune importance et c'est, au contraire des ports de commerce, la superficie des bassins qu'on tend à agrandir.

DIVERS PORTS MILITAIRES

Toulon. — Le port militaire de Toulon comprend quatre darses et huit bassins de radoub.

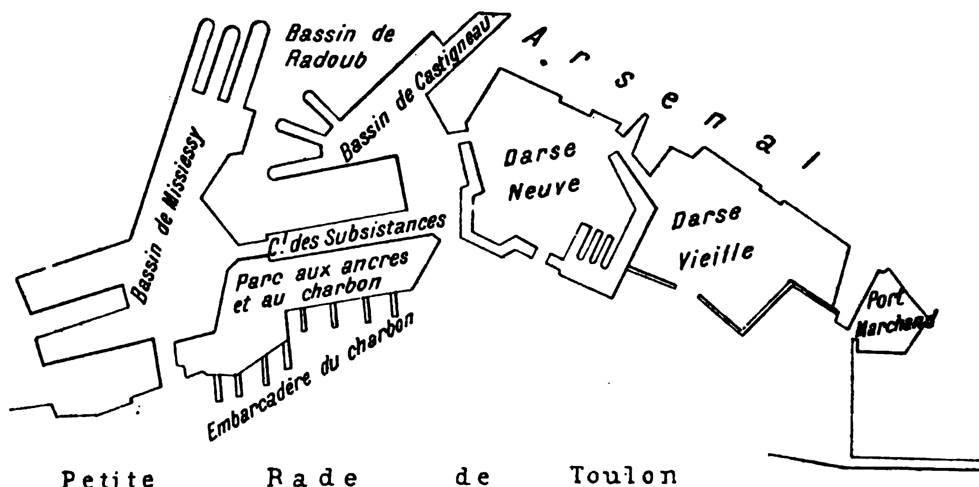


Fig. 390. — Toulon.

C'est donc un des plus étendus qui existent ; mais l'ancienneté des bâtiments fait que la disposition générale laisse à désirer au point de vue de la commodité.

Cherbourg. — La crainte d'une attaque de la rade par des torpilleurs qui pourraient pénétrer dans les larges passes latérales, a déterminé l'exécution de deux môles ; l'un à l'ouest passe sur l'île Pelée et a une longueur totale de 2 500 mètres ; celui de l'est, qui part de Querqueville est long de 1 900 mètres (pl. X, fig. 1). La largeur des nouvelles passes est de 500 mètres.

Une intéressante discussion a précédé l'exécution de ces travaux, au

sujet de leur effet sur les phénomènes de la rade. On avait émis l'opinion qu'ils produiraient une augmentation de la vitesse du courant dans l'entrée ouest, et l'ensablement de la surface abritée. En réalité, aucune augmentation de courant ne s'est manifestée ; autrefois, ceux de flux et de reflux entraient librement et contournaient la rade, aujourd'hui il ne pénètre plus que la quantité suffisante pour remplir le bassin abrité, c'est-à-dire beaucoup moins, de sorte que l'équilibre s'est établi. Quant à l'ensablement, comme l'apport des alluvions avait surtout lieu par les vents du nord-ouest, le môle ouest leur a barré le passage.

Brest. — Le port militaire de Brest se trouve dans le lit de la Penfeld où les bâtiments auraient été obligés de remonter en temps de guerre pour trouver un abri contre les torpilleurs. On a créé devant le port militaire un port de refuge, au moyen d'une digue presque parallèle à la côte, de 2 100 mètres de longueur, d'un môle de 210 mètres partant des Quatre Pompes, et d'un crochet de 600 mètres, suite de l'extrémité occidentale de la digue du port de commerce. On ménage ainsi deux passes, l'une de 400, l'autre de 270 mètres (pl. X, fig. 2).

Ce port de refuge a environ 3 kilomètres de longeur sur 1 250 mètres de largeur moyenne.

Portsmouth. — L'arsenal de Portsmouth est situé sur la rive orientale du havre de Portsmouth qui s'ouvre dans la rade de Spithead, derrière l'île de Wight. L'entrée du havre est très resserrée entre les villes de Portsmouth et de Gosport. La superficie de l'arsenal est de 120 hectares.

Il n'existait avant 1864 que deux bassins, l'un d'un hectare, où aboutissent les cales de radoub numéros 2, 3, 4 et 5 (les numéros 1 et 10 s'ouvrent sur le havre lui-même), l'autre d'un peu moins de 3 hectares, connu sous le nom de Steam Basin (bassin de vapeur). Les agrandissements ont compris quatre bassins dont un de marée (4 hectares) et quatre à flot pour le gréement, l'armement et les réparations qui ont les deux premiers 5 et 6 hectares, le dernier 9 hectares de superficie. Le bassin de marée communique avec les premiers par des écluses simples et avec le dernier par trois écluses ayant comme dimensions :

Longueur du sas : 130 mètres ; largeur : 24 et 25 mètres. Profondeur d'eau maxima sur les seuils : 12,60 *m*.

Il existe quinze bassins de radoub de différentes grandeurs ; les derniers, les plus vastes, ont les dimensions suivantes :

Longueur de la forme. . . . 150 mètres
Largeur de l'entrée . . . . 24 »
Profondeur d'eau sur le seuil de 6 à 10 » suivant la marée.

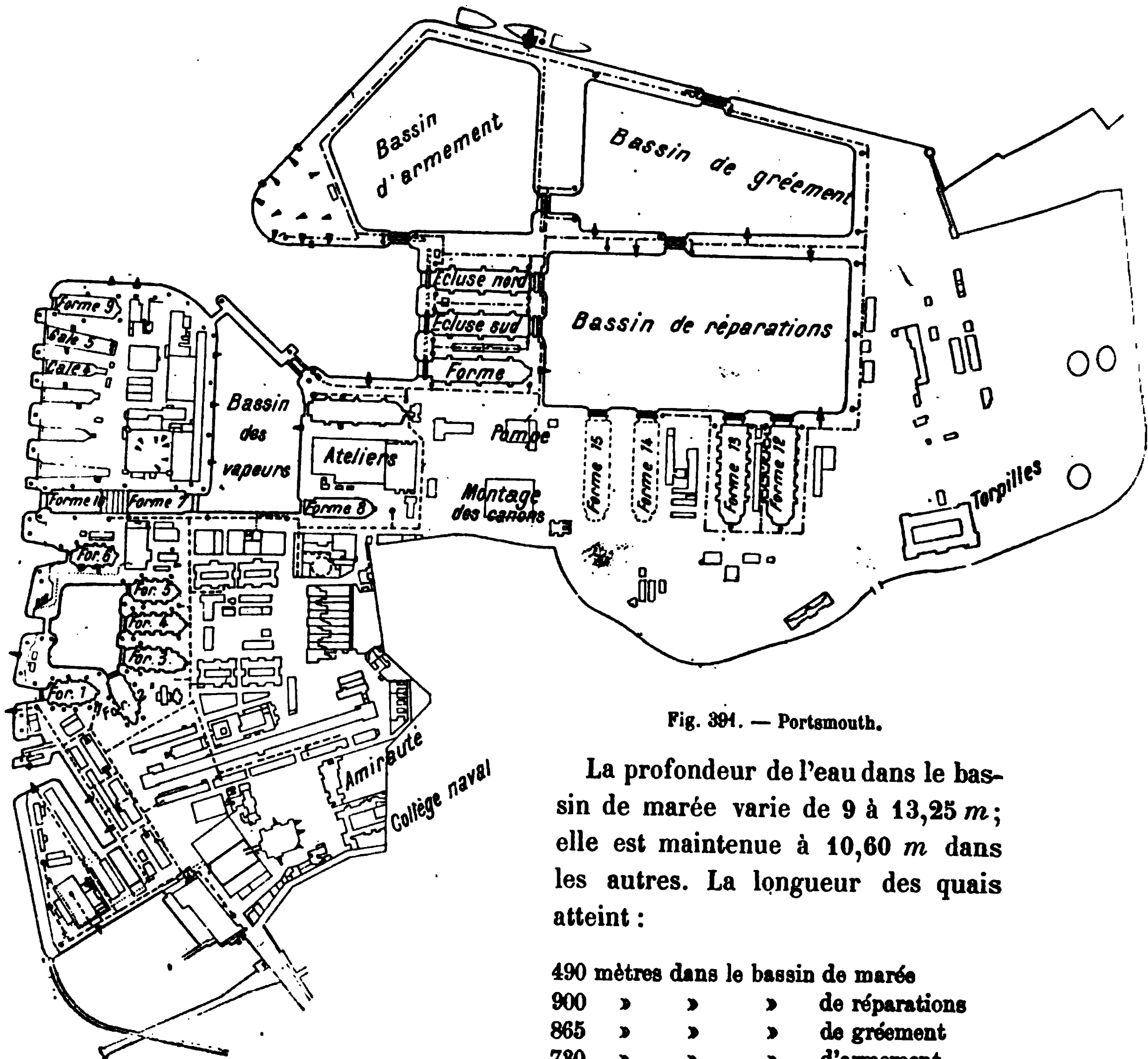


Fig. 391. — Portsmouth.

La profondeur de l'eau dans le bassin de marée varie de 9 à 13,25 *m*; elle est maintenue à 10,60 *m* dans les autres. La longueur des quais atteint :

490 mètres dans le bassin de marée
900 » » » de réparations
865 » » » de gréement
780 » » » d'armement.

Les quais sont abondamment pourvus de grues, de cabestans. L'arsenal comprend tous les ateliers nécessaires à la construction, l'armement, l'équipement des navires dans un délai très court. De nombreuses cales de construction sont installées sur les bords du havre.

En outre des innombrables constructions de l'arsenal, des pontons flottants, anciens vaisseaux, servent de casernes, etc.

Le charbon se fait sur le quai nord du bassin de marée, où sont installés des appareils hydrauliques de manutention.

A Gosport est une annexe contenant les magasins de vivres, de provisions alimentaires et d'habillement.

Wilhelmshaven (fig. 392). — L'arsenal comprend deux bassins mesurant ensemble 26 hectares, creusés à la cote —5 mètres; le niveau est

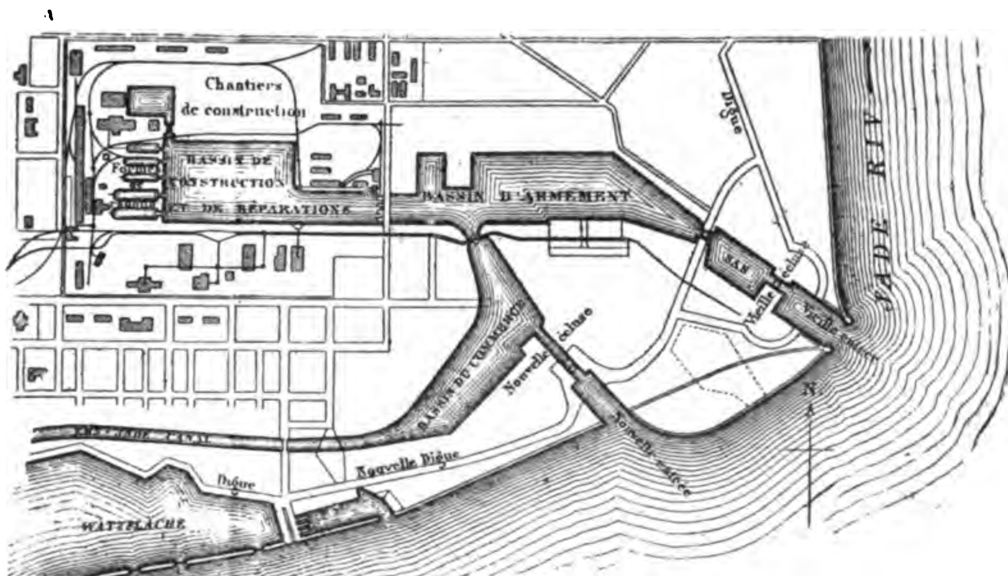


Fig. 392. — Wilhomshaven.

maintenu à 3,75 m au-dessus. L'entrée se fait par deux écluses; la nouvelle a un sas de 120 mètres avec 24 mètres de largeur.

Le premier bassin est destiné à l'armement, le second à la réparation. Il contient trois formes de radoub et plusieurs cales de construction; les formes ont de 116 à 134 mètres de longueur.

La Spezzia (fig. 393). — Port qui réunit tous les avantages d'une défense facile et d'une sécurité complète. Les deux bassins d'armement et de réparations comprennent six bassins de radoub. L'arsenal est un des mieux conçus qui existent.

L'entrée de la baie de la Spezzia est fermée par une digue dont le sommet reste au-dessous du niveau de l'eau; il y a là pour des navires ennemis qui chercheraient à forcer l'entrée un écueil très dangereux.

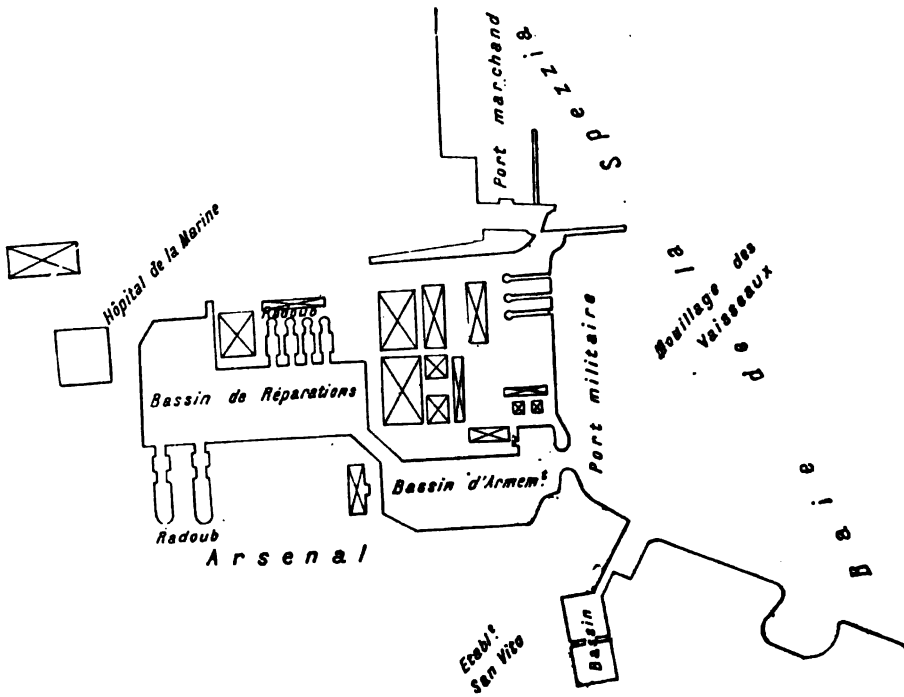


Fig. 393. — La Spezzia.

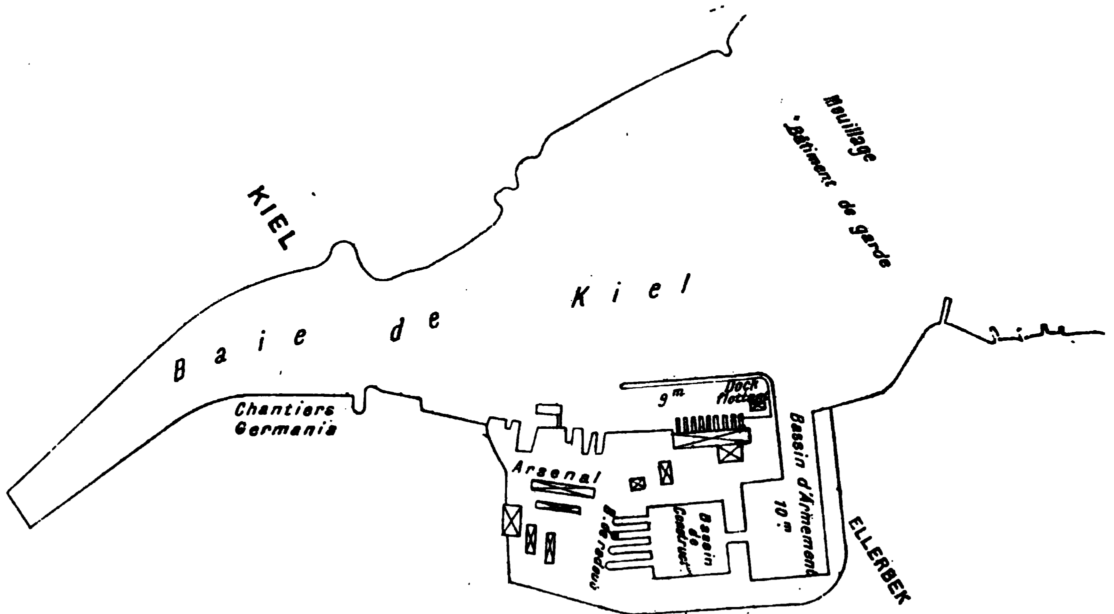


Fig. 394. — Kiel.

Kiel (fig. 394). — Kiel est admirablement placé au fond d'une baie dont l'accès est impossible à des navires ennemis. Les bassins sont au nombre de deux : l'un est affecté à la construction, l'autre à l'armement. Quatre cales de radoub, une forme flottante et trois cales de halage servent à la réparation des navires.

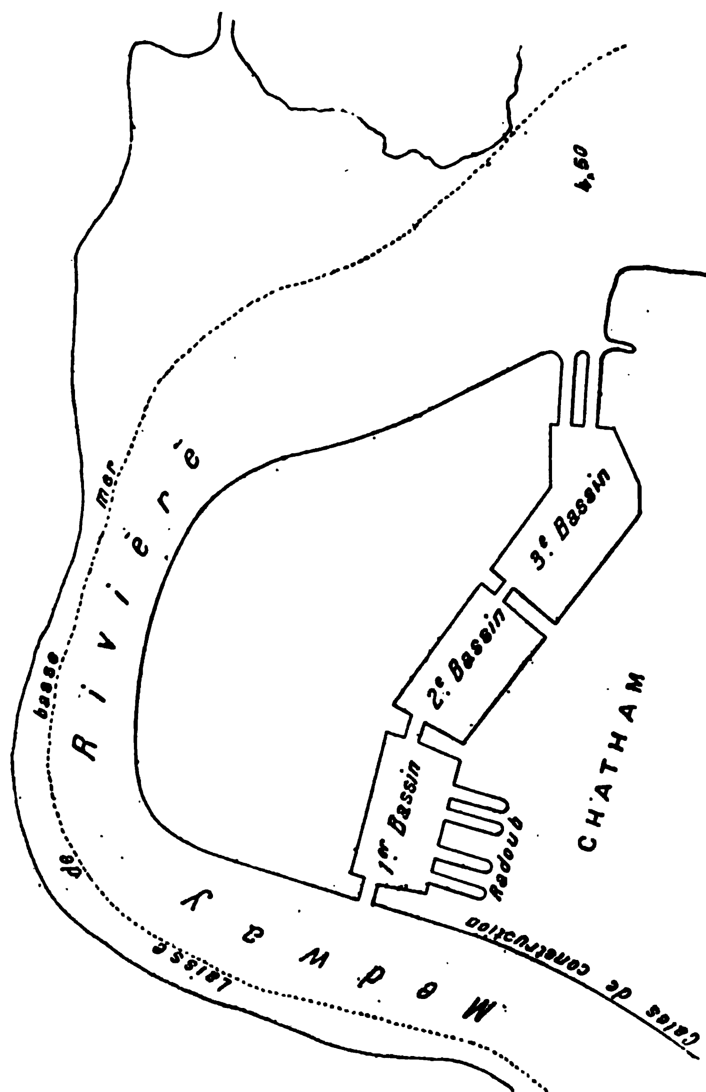


Fig. 395. — Chatham.

Chatham. — La figure 395 donne le plan des bassins de Chatham, où l'on a tiré un excellent parti d'une boucle de la Medway.

CHAPITRE XXXVI

DIVERS

EXÉCUTION DES TRAVAUX MARITIMES

L'exécution des travaux maritimes demande une compétence et une expérience indiscutables. Il est des règles d'administration qui ne sauraient être transgressées sans de funestes conséquences. On a déjà vu l'importance des études préliminaires. Seules les corrections de détail sont possibles en cours de l'entreprise. Pour des môles, par exemple, une direction erronée non seulement ne produit pas le résultat cherché, mais peut même entraîner la ruine de la localité.

Les travaux à la mer ne supportent pas la médiocrité. La lutte contre l'Océan, non seulement contre sa violence, mais aussi contre ses lents procédés de désintégration, exige une exécution aussi parfaite que possible.

Il est de haute importance d'avoir dès le début la disponibilité des crédits nécessaires. Les gouvernements pourtant répartissent généralement sur plusieurs exercices la somme prévue; mais la quantité annuelle doit être égale à la dépense possible et indispensable dans l'année. Les premières annuités seront affectées à l'achat du matériel.

Le système des petits crédits a longtemps été la règle aux États-Unis. Mais à San Diego les fausses manœuvres, résultat de cette façon d'opérer, ont fait dépenser plus en réparations que pour les travaux eux-mêmes. Cette expérience, signalée par les ingénieurs civils, a fait complètement changer la politique du Congrès américain.

Il a déjà été question à propos des dragages de l'exécution comparée en régie ou par adjudication. Les considérations ne sont pas les mêmes pour les autres genres de travaux.

Les travaux exécutés à l'entreprise le sont suivant deux modes différents : par prix unitaires ou à forfait.

Dans le premier cas, au cahier des charges est annexé un devis complet, bien détaillé. Chaque nature d'ouvrage est cotée à un prix unitaire déterminé et les travaux sont réglés en conséquence.

Ce système est évidemment le meilleur pour les deux parties quand il ne peut y avoir d'incertitude pour la nature des objets livrés: maçonnerie, charpente, etc. Mais même à terre dans les travaux de terrassement nous avons vu bien des fois des contestations sur la dureté des terrains enlevés et ce n'est là qu'un exemple entre de nombreux cas analogues.

Sous l'eau les difficultés sont bien plus grandes. Telle drague, par exemple, enlèvera directement certaines roches que d'autres seront impuissantes à attaquer. Où commence le déroctement? La présence imprévue de gros blocs, de troncs d'arbres, d'argile, donne un caractère tout autre à une entreprise de dragage.

Le remède à ces inconvénients semble se trouver dans le forfait. L'ouvrage est exécuté moyennant une somme globale, qui comprend toutes les éventualités.

L'entrepreneur court donc seul tous les risques.

Ce système, séduisant au premier abord, est peut être le plus délicat. Remarquons d'abord qu'il exige également un devis avec prix unitaires. L'entrepreneur, en effet, est payé mensuellement des travaux exécutés; il faut donc appliquer aux métrés relevés des prix qui permettent de dresser le décompte de ce qui lui est dû. Ces prix doivent être étudiés avec le plus grand soin. D'une part il faut suivre équitablement les déboursés de l'entrepreneur, quand ce ne serait que pour lui permettre de continuer les travaux. D'autre part dans un dragage, par exemple, si les couches superficielles ou d'extraction facile sont payées trop cher relativement aux autres matériaux, l'entrepreneur pourra s'y adonner exclusivement et se retirer après avoir touché une somme suffisante pour compenser la perte de son cautionnement, sans enlever les portions difficiles sur lesquelles il éprouverait des pertes.

Les éventualités de ce genre sont des plus malaisées à prévoir.

Mais le principal inconvénient du forfait, c'est qu'il ne permet pas les changements en cours d'exécution; et c'est pourtant dans les travaux maritimes surtout que l'expérience de chaque jour indique des modifications, les unes économiques, les autres utiles, d'autres enfin absolument indispensables. Il faut dans ce dernier cas arriver avec l'entrepreneur à une entente qui est le plus souvent onéreuse.

Nous avons vu ainsi un fait accidentel permettre d'établir à l'air libre et à sec, au prix de 25 francs, une maçonnerie prévue et prévue avec raison à 100 francs parce qu'elle devait être exécutée à l'air comprimé. Il s'agissait d'un cube considérable et la différence constituait une somme fort importante.

L'inconvénient qui vient d'être signalé n'est d'ailleurs pas absolument levé par l'entreprise avec prix unitaires. Les changements en cours d'exécution sont toujours difficiles à obtenir de l'entrepreneur. Les prix non prévus au bordereau s'imposent malaisément. Il est donc certains travaux qui seront toujours exécutés avantageusement en régie.

Le prix des dragages varie non seulement avec la nature du sol, mais aussi avec la profondeur.

RÉPARATIONS

Il arrive souvent que des radiers d'écluses, de bassins de radoub, laissent passer des sources à travers leur maçonnerie, par suite de décomposition des mortiers. Si l'une de ces sources est aveuglée, elle se fraye en général une autre route à côté, par suite du mauvais état de l'ensemble. Ce qu'il faut dans ce cas, c'est recevoir la source dans une cheminée en planches, en briques ou en zinc, où l'eau monte jusqu'au niveau de la nappe qui l'alimente. On consolide le radier avoisinant, de façon qu'il ne puisse être forcé, et l'orifice inférieur de la cheminée est alors bouché par une injection de coulis de ciment *pur*. Quand la source est arrêtée, la cheminée est démolie.

A la réparation de l'écluse du bassin à flot de Calais en 1864 on fut obligé de pomper dans la cheminée pour empêcher l'eau de délaver les réparations.

A l'écluse Notre-Dame en 1880, le radier reçut de même des injections. Une barre à mine forait suivant les lignes de joints des trous espacés de 70 *cm* environ. Ces trous furent nettoyés par de l'eau refoulée au moyen d'une pompe et qui, pénétrant sous les voussoirs, forçait les impuretés à sortir par les orifices voisins. On scellait alors au ciment rapide sur les trous un bout de tuyau de 30 *cm* sur lequel on adaptait un tube de 4 mètres de longueur et 30 *cm* de diamètre qui recevait le coulis de ciment. Par des coups sur le côté, on forçait la descente ; le ciment se répandait sous les voussoirs. Chaque trou en a absorbé en moyenne 60 kilogrammes, mais il en est entré dans quelques-uns jusqu'à 400 kilo-

grammes ; cette quantité correspondait à 84 litres par mètre carré de radier.

Le succès a été complet.

Caisson mobile pour la réparation des murs de quai (fig. 396). — Les nouveaux murs du quai Carnot à Calais ayant éprouvé des avaries

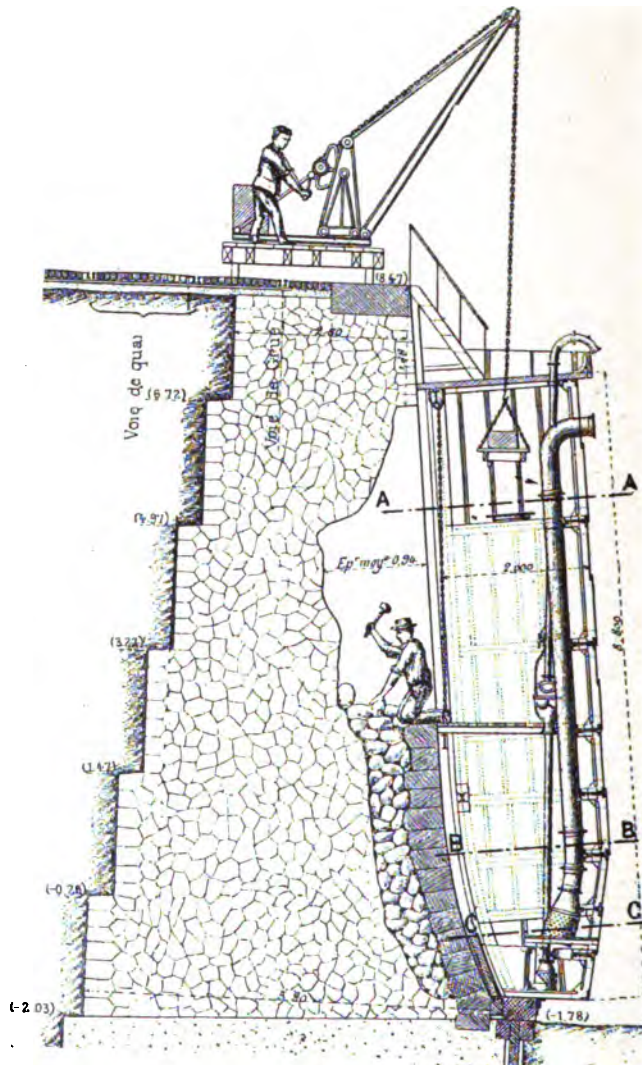
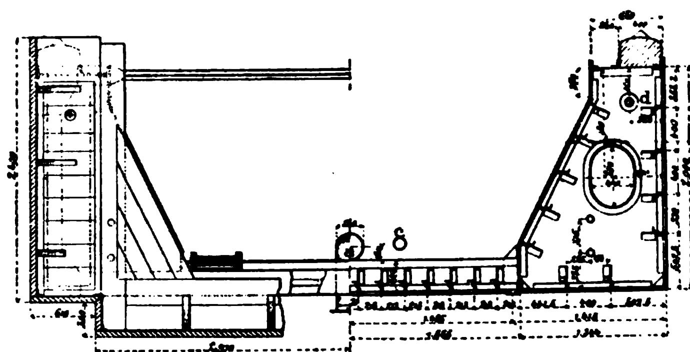


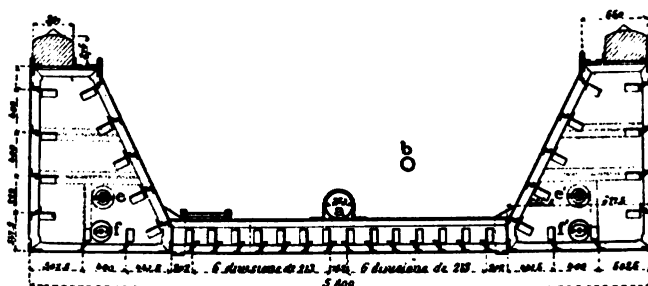
Fig. 396. — Caisson mobile. — Coupe verticale.

provenant de la décomposition des mortiers ont été réparés par l'appareil suivant qu'il semble utile de faire connaître :

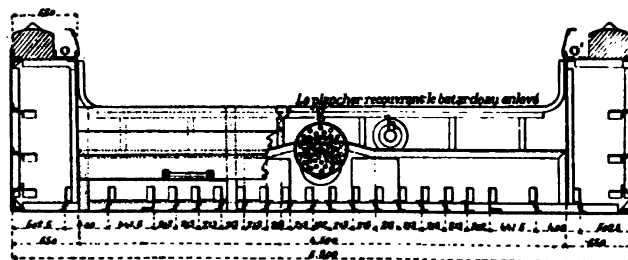
C'est une grande caisse de 8,80 × 5,80 × 2 mètres ouverte sur une de ses grandes faces, celle qu'on applique contre le mur. Deux compartiments latéraux étanches la rendent flottable ; elle peut donc être conduite à pied d'œuvre, la face ouverte en l'air. On ouvre alors deux bondes



Coupe AA



Coupe BB



Coupe CC

Fig. 397. — Caisson mobile.

placées vers l'une des extrémités des compartiments étanches ; le caisson s'enfonce.

Chaland ajustable pour la réparation de l'avant d'un navire. —



Fig. 398. — Chaland ajustable pour la réparation.

La figure explique suffisamment le mode d'emploi de ce chaland, qui peut rendre des services dans certaines circonstances.

LES PORTS FRANCS

Les marchandises qui entrent dans un port ne doivent pas toutes êtres livrées immédiatement à la consommation et sont déposées dans des entrepôts réels ou fictifs. Elles ne paient les droits de douanes qu'à mesure de leur sortie des magasins.

C'est là un avantage sérieux fait au commerce, mais réduit à ces termes il était insuffisant. Le débarquement dans les entrepôts ne suit pas immédiatement l'entrée du navire au port ; il est précédé de formalités (dépôt du manifeste, permis, etc.) qui font perdre parfois plusieurs jours, surtout si le nombre des préposés de la douane — lesquels doivent être présents — n'est pas en proportion du nombre des bâtiments qui attendent.

Aussi a-t-il été nécessaire d'autoriser le débarquement dans des magasins qui, considérés comme le prolongement des cales du navire, ont pris le nom de magasins-cales. C'est là qu'a lieu la reconnaissance par les agents fiscaux, tandis que le navire a pu se recharger et quitter le port.

Mais dans ces magasins, de même que dans les entrepôts, les marchandises ne peuvent subir aucune transformation ; elles doivent être représentées dans leur état primitif ; seules certaines mesures de précaution sont permises.

Les matières premières qui servent à l'industrie sont donc obligées, au sortir des magasins, d'acquitter les droits. Or ceux-ci ne doivent frapper que la consommation du pays. Si les produits ouvrés sont exportés, on leur rend les droits primitivements acquittés par la matière première, suivant des règles et des proportions indiquées par les règlements.

C'est le régime du drawback, limité d'ailleurs à un temps assez court et qui entraîne de nombreuse formalités, gênantes et coûteuses : cautionnement à l'entrepôt, pertes par coulage, pièces manquées, etc. Les exigences douanières entraînent une telle perte de temps que les maisons de commerce sont obligées d'avoir recours, pour en suivre la filière, soit à des agents spéciaux, soit à des employés particuliers.

C'est pour remédier à ces multiples inconvénients qu'ont été créés les ports francs, dont il importe de bien connaître la nature.

Un port franc est simplement une certaine étendue de terre où la marchandise a le droit de débarquer, de se transformer industriellement et de se réembarquer, sans l'intervention de la Douane.

Cette zone est absolument isolée du reste du pays par une grille, un mur, un canal, aux portes desquels veillent les agents fiscaux. Toute marchandise qui en sort n'a qu'à acquitter les droits.

A Copenhague, la réalisation du port franc est complète.

Malgré sa création récente, plusieurs industries y sont déjà installées et elles desservent aussi bien la clientèle locale que celle de l'étranger.

Il faut reconnaître que pour la première l'avantage est contestable. Les économies réalisées par la suppression des formalités fiscales à l'entrée se perdent à la sortie de l'enceinte réservée et il n'y a réellement de bénéfices que sur le coulage. Ces bénéfices sont certainement compensés par le haut prix des terrains dans le port franc, l'obligation de se servir de la vapeur quand peut-être à côté il y avait une chute d'eau, etc.

Ce n'est pas tout. Les pays comme la France, qui ont des tarifs différentiels, les appliqueraient difficilement à la sortie de l'enceinte réservée. Les mêmes produits paient des droits différents suivant qu'ils proviennent des colonies, de l'étranger, des pays les plus favorisés ou non ; comment en faire le départ dans un article fabriqué ?

A Copenhague on ne s'est pas heurté à cette difficulté, parce que les tarifs différentiels n'existent pas au Danemark.

A Hambourg on a résolu la question en appliquant au port franc le traitement de la nation la plus favorisée ; mais l'Allemagne alors n'avait pas ou guère de colonies.

Tout l'avantage qu'on peut attendre du port franc consiste donc dans le commerce avec l'étranger, après transformation industrielle des produits reçus, car de moins en moins une localité pourra servir d'emporium pour les pays voisins. Il y a certainement là une source de profits nationaux indiscutable, mais serait-elle aussi grande qu'on l'espère ? Vaudrait-elle la transformation coûteuse des terrains qui avoisinent les ports et qu'il faudrait exproprier à grands frais ? Légitimerait-elle l'intervention de l'Etat ? Ce sont des questions qu'il n'est pas possible de résoudre en principe et qu'il suffit de poser en en indiquant la portée ?

A Hambourg le succès du port franc a été considérable ; mais aussi l'industrie allemande produit à très bon marché ; d'autre part le mouvement commercial de toute la région est presque concentré dans cet immense port ; enfin le développement de cette industrie est récent et n'a pas eu à se heurter contre des usages établis, des établissements connus.

En serait-il de même ailleurs ?

FILAGE DE L'HUILE

D'expériences répétées, il résulte qu'une mince couche d'huile, répandue à la surface de la mer, produit une accalmie momentanée. Non pas que la hauteur des vagues en soit diminuée ; cette hauteur est le résultat d'actions trop puissantes et trop éloignées pour qu'elle puisse être modifiée par une cause aussi faible ; mais la tendance des ondes à déferler, à s'entrechoquer est presque supprimée et les navires entourés de la couche protectrice sont à l'abri des coups de mer qui leur sont si dangereux.

On a donné de l'action de l'huile de nombreuses explications, qui ne sont pas encore satisfaisantes ; on l'attribue principalement à un effet de tension superficielle.

Le meilleur procédé pour le répandage de l'huile est d'en saturer des paquets d'étoupe contenus dans des sacs qui ne la laissent échapper que par gouttes. On suspend un sac de chaque côté du navire à l'avant, de façon à ce qu'ils traînent à la surface de l'eau.

La couche d'huile qui recouvre la mer est très mince.

Nous avons personnellement expérimenté en de nombreuses localités le filage de l'huile ; nous avons malheureusement acquis la certitude que l'action protectrice ne se manifestait que là où la mer a une profondeur assez grande, et généralement supérieure à celle où les ingénieurs fondent leurs travaux. Il n'y a donc pas grande aide pour eux à espérer de ce procédé. Cependant, quand les ouvrages s'étendent assez loin en mer, on pourra dans certaines conditions obtenir des effets partiels parfois utiles. Quelques expériences préliminaires indiqueront si l'on pourra compter à l'occasion sur l'action du filage de l'huile.

On a reconnu que les huiles végétales ont un effet supérieur à celui des substances oléagineuses minérales. L'eau de savon, à un moindre degré, possède aussi le pouvoir de calmer la surface des flots.

NAVIRES A GLACE

Un grand nombre de ports, comme ceux de la Baltique, sont gelés pendant une partie de l'hiver. La couche de glace est plus ou moins épaisse, mais elle n'atteint que rarement plus d'un mètre.

On a depuis quelques années construits des navires spéciaux pour ouvrir, au milieu de la croûte gelée, un chemin qui ne se referme pas assez vite pour empêcher un ou même plusieurs navires de passer dans le canal provisoire ainsi formé.

Le plus récent de ces bateaux est l'*Ermack*, construit en Russie. Ses dimensions sont :

Longueur : 91,30 *m* — Largeur : 21,30 *m* — Creux : 12,78 *m*.

Il cube 14 700 tonneaux, dont 4 000 sont réservés au charbon. Il est divisé en 48 compartiments étanches et porte en son milieu une chambre de pompes dont le débit puissant sert non seulement à franchir à l'occasion une voie d'eau, mais encore à emplir une partie des compartiments étanches, pour faire basculer le bâtiment, l'immerger afin de

le décoller des glaces, opération aidée par un jet de vapeur le long des parois.

Le tirant d'eau peut ainsi varier de 5,70 *m* à 7,50 *m*. La coque, sur cette hauteur, est pourvue d'une cuirasse de 3 *cm* d'épaisseur.

Les formes arrondies du bâtiment, l'inclinaison de l'étrave à 70° permettent encore au navire de se dégager des glaces et de les briser par son poids. Sa vitesse est de 16 nœuds.

Les premières expériences ont montré que l'*Ermack* naviguait facilement au milieu d'une banquise de 1,50 *m* d'épaisseur et qu'il peut ouvrir le chemin à d'autres bâtiments. Il y a donc là une perspective nouvelle d'avenir pour les ports septentrionaux,

A Hambourg il existe trois navires à glace.

EXPLOITATION DIRECTE PAR UNE COMPAGNIE

Pasajes. — L'exploitation du port de Pasajes, en Espagne, est pratiquée par la Compagnie concessionnaire elle-même.

C'est elle qui débarque, emmagasine et livre les marchandises importées et accomplit les opérations inverses pour l'exportation. L'outillage se compose de huit grues à vapeur de 1 500 à 3 000 kilogrammes et d'une grue à main de 15 tonnes. Les premières ont à desservir chacune 70 mètres de quai et ont manœuvré en moyenne 490 tonnes par mètre de quai, quantité qui pourrait être portée à 600 tonnes.

L'élévation de ce chiffre est due à la facilité des opérations, qui résulte de leur concentration dans une seule main. Il s'en suit au profit du public une réduction dans les prix des manutentions. Ainsi les marchandises générales ne paient plus que 1,50 *f* au lieu de 2,50 *f*. Cet abaissement a eu pour résultat une augmentation dans le tonnage des navires qui fréquentent le port.

L'exploitation par une société a encore d'autres avantages. La Compagnie a plus facilement action sur les services afférents au port, les douanes, les chemins de fer, etc. Elle peut à un moment donné concentrer ses efforts sur une opération urgente.

SAUVETAGE DES NAVIRES

L'Ingénieur d'un port a trop souvent à s'occuper des navires échoués dans les bassins eux-mêmes, dans les chenaux, les fleuves ou dans les passes de l'entrée.

Parfois l'épave est tellement gênante pour la manœuvre des autres bâtiments qu'il est impossible de lui accorder le temps nécessaire à son renflouement. On la détruit sur place ou sur les côtés des bassins, quand on peut arriver à l'y traîner. La même solution s'impose également quand la valeur du navire n'équivaut pas aux frais que nécessiterait le sauvetage. C'est surtout lorsque le naufrage a eu lieu dans des endroits très exposés.

Destruction. — Le procédé employé est le dépècement par un explosif. Pour les navires en fer la dynamite est le seul employé ; pour les navires en bois on a souvent avantage à servir de la poudre ordinaire, qui brise des morceaux plus gros et encore utilisables. Il est bien évident qu'il faut commencer par l'emploi de petites charges pour se rendre compte des effets produits ; souvent on n'en peut employer d'autres et la destruction de l'épave est alors très longue.

A Liverpool, presque tous les navires sombrés sont détruits ; cependant quelques opérations de sauvetage ont prouvé qu'elles y sont faciles.

Renflouement. — En pratique il n'y a guère encore que deux méthodes employées pour sauver un bâtiment : le soulèvement par chameaux ou la mise à flot par épuisement.

Chameaux. — En terme général, le chameau comprend tout appareil flottant capable de soulever un corps immergé.

Ce procédé n'est applicable que dans les localités à fortes marées.

En basses eaux on attache à l'épave des cordes qui sont fixées à pic à un flotteur de volume suffisant. La marée montante soulève l'épave qui est conduite en un point où elle restera à sec à la suivante basse mer ; elle pourra y être réparée et remise à flot. Elle peut aussi être transportée dans un bassin de radoub.

Les flotteurs peuvent être, pour les petites épaves, des barriques vides ou des caisses étanches qui sont les véritables chameaux. Il est encore plus simple de passer sous le bateau des élingues ou câbles dont les extrémités sont attachées à des chalands maintenus écartés par des traverses. On a soin de couper les mâts, les cheminées, qui peuvent gêner les manœuvres.

Autrefois c'étaient des chaînes qui servaient à ces opérations ; mais les câbles en acier sont beaucoup plus légers et maniables ; ils sont manœuvrés par deux remorqueurs qui les font passer sous la quille. Il

est souvent nécessaire de dégager celle-ci de la vase ou du sable par un jet d'eau sous pression.

Epuisements. — L'autre procédé consiste à fermer toutes les ouvertures, sabords, écoutilles, etc. et à pomper l'eau intérieure. Le navire peut ainsi être remis à flot.

Ce système est assez simple quand le bâtiment est échoué de façon à émerger en partie. Autrement, on peut surélever ses parois comme dans le cas de l'*Austral*, ci-après décrit.

Les ouvertures sont bouchées par l'application de boucliers en bois ou en métal ; ils sont retenus par des traverses et des goujons dont les pas de vis sont pratiqués dans le bordé métallique par des plongeurs ; des clous suffisent pour les bâtiments en bois. L'interposition de plaques de caoutchouc, pour les petites ouvertures, garantit l'étanchéité. La toile à voile goudronnée est d'un assez bon usage et peut seule être employée quand la surface à couvrir est d'une grande étendue.

Les ouvertures les plus difficiles à fermer sont les déchirures résultant de collisions. La difficulté se complique encore quand le navire donne de la bande, c'est-à-dire est incliné latéralement et que le trou est ainsi caché. Souvent alors il n'y a aucun moyen d'étancher. Il faut ajouter cependant que les plongeurs très exercés se dirigent parfaitement dans les cales des bâtiments et peuvent parfois aller jusqu'au point perforé.

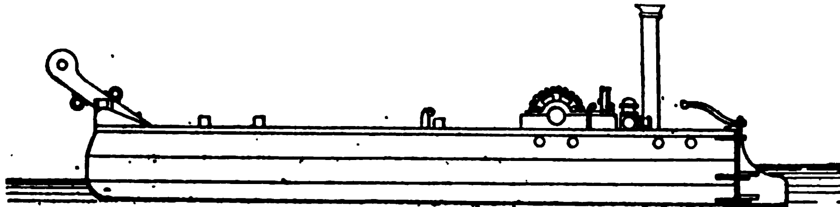
Matériel de la Tamise. — Une loi de 1870 donne au *Conservancy Board* de la Tamise le droit d'enlever immédiatement les navires sombrés dans le fleuve et de recouvrer les frais des sauvetages, d'après un tarif. Le Board possède un personnel et un matériel spéciaux, qui lui ont permis en onze années de retirer de l'eau 74 vapeurs jaugeant ensemble 55 000 tonneaux et 54 voiliers de 9 000 tonnes globales.

Le matériel comprend :

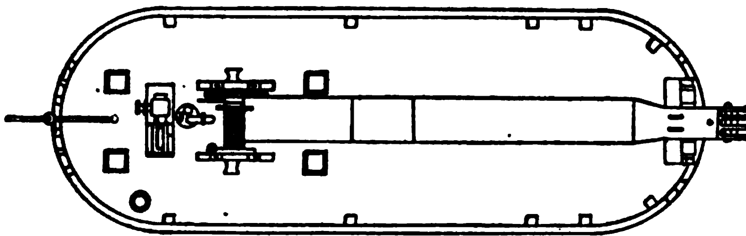
	Longueur	Largeur	Puissance de soulèvement
5 chalands :	21,30 *m*	7,30 *m*	150 tonnes
2 »	27,40	7,30	300 »
2 »	8,50	8,50	400 »

La puissance de soulèvement de l'ensemble est donc de 2 150 tonnes, mais elle peut être augmentée en accroissant la calaison des chalands.

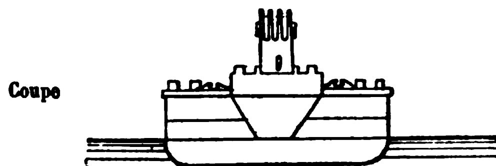
En outre il existe un bateau spécial qui se rend immédiatement sur le lieu d'un sinistre pour en marquer la place et un remorqueur portant une puissante pompe centrifuge.



Élévation.



Plan.



Coupe

Fig. 399. — Chaland de 150 tonnes.

La figure 399 montre la construction des chalands de 150 tonnes qui sont en fer, avec panneaux étanches. Trois d'entre eux sont munis de treuils avec machines de 12 chevaux et de bossoirs à trois réas débordant la coque. C'est sur ces poulies que passent les câbles de relèvement. Chaque chaland porte en outre une pompe centrifuge mue par la même machine que les treuils. Elle peut refouler de l'eau sous les carcasses afin d'y creuser des trous pour le passage des câbles.

Les allèges de 300 tonnes, à peu près semblables, possèdent six compartiments étanches ; les panneaux hermétiquement fermés permettent l'immersion complète sans danger.

Les chalands de 400 tonnes (fig. 400) à nombreux compartiments étanches, sont perforés d'un puits central de 18 mètres de longueur,

large de **45** *cm* à la hauteur du pont et de **60** *cm* au fond. C'est dans ce puits que passent les câbles, guidés par des sommiers et retenus par des bollards.

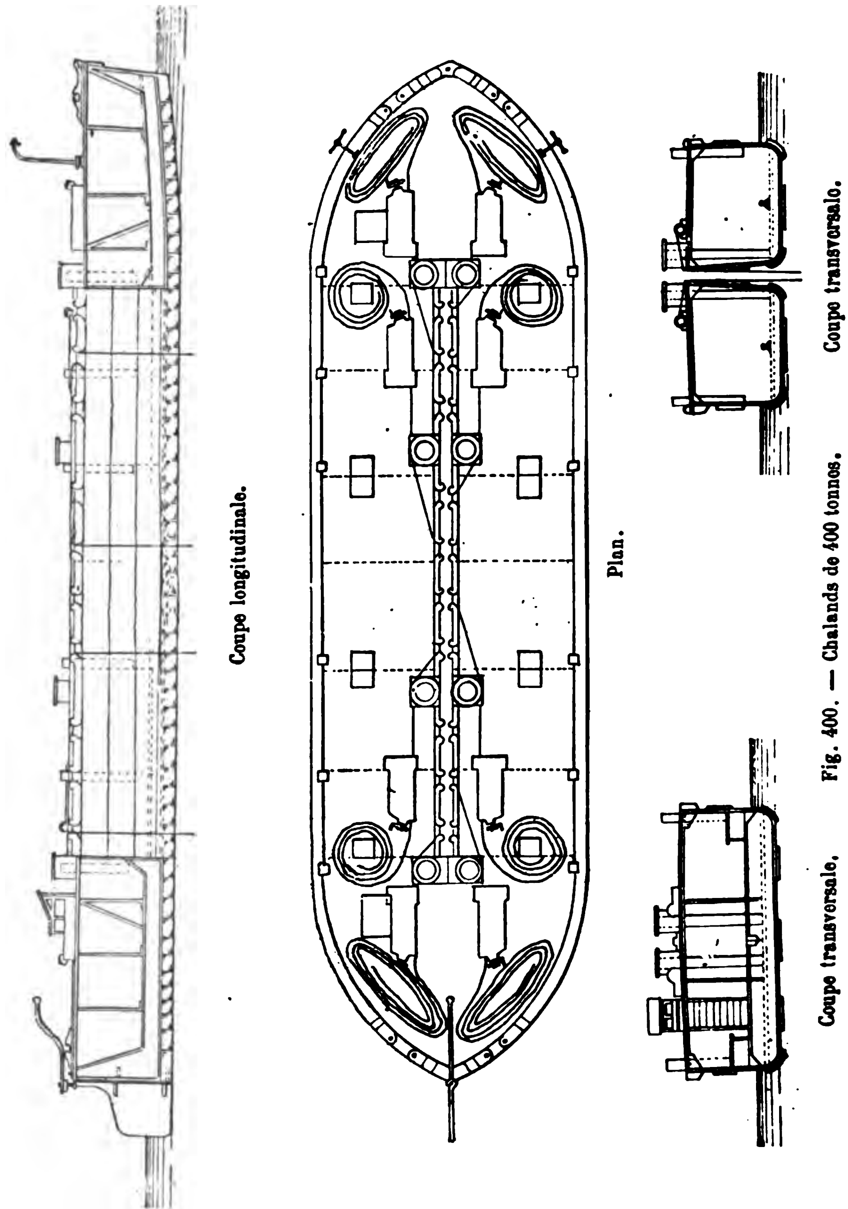


Fig. 400. — Chalands de 400 tonnes.

Ces câbles sont en acier de **25** à **30** *mm* de diamètre, leur longueur est de **4** à **40** mètres environ.

Le matériel complet a coûté 750 000 francs. Le sauvetage d'un navire exige une à deux semaines.

Austral (pl. IX, fig. 2). — L'*Austral*, vapeur dont les dimensions sont : 140×14,60×11,25 *m* et dont le tonnage est de 5 600 tonnes, avait coulé à Sydney par 16 mètres d'eau en se penchant de 11° sur tribord. Pour le renflouer, on suréleva ses pavois de façon à dépasser le niveau de l'eau et à constituer un batardeau au milieu duquel on pouvait épuiser l'eau.

Ce batardeau avait 125 mètres de longueur sur 9 mètres de hauteur; une cloison transversale étanche, située entre les deux cheminées, le séparait en deux compartiments qui pouvaient être vidés séparément, de manière à équilibrer l'émersion.

Le batardeau était composé de fermes espacées de 2,50 *m* sur lesquelles étaient clouées des planches. Les fermes opposées étaient réunies par des entretoises, consolidées elles-mêmes par des montants assemblés par des moises longitudinales.

Le batardeau commençait un peu au-dessous du pont des gaillards ; il était construit à terre par portions de 5 mètres de longueur qui, après lestage, étaient mises en place au moyen de grues portées par des pontons. Des plongeurs les boulonnaient à travers les hublots.

L'étanchéité était obtenue par une toile à voile clouée extérieurement sur le bordage ; elle le dépassait à sa partie inférieure et s'appuyait fortement contre le joint quand les pompes faisaient baisser le niveau intérieur. Il fut employé 2400 mètres carrés de toile.

Les pompes étaient au nombre de 10 comprenant :

Une	de 50 *cm*	de diamètre,	donnant		1060	litres	à la seconde
Deux	» 38	»	»	chacune	530	»	»
Quatre	» 25	»	»	»	230	»	»
Deux	» 18	»	»	»	300	»	»
Une	» 23	»	»		150	»	»

L'ensemble, en travail, pouvait enlever un peu moins de 4 mètres cubes à la seconde. La vapeur était fournie par des navires mouillés le long de l'épave.

Il est facile de calculer que pour donner au navire une poussée de 6 000 tonnes il suffisait d'abaisser de 3 mètres le niveau intérieur de l'eau. Ce n'eût été que l'affaire d'une demi-heure à peine si l'étanchéité eût été absolue, mais les rentrées d'eau sont toujours considérables.

Après une heure et un quart les pompes avaient abaissé le niveau de 2,10 *m*; le navire commença à se redresser, un temps égal fut employé à cette opération.

Il fallut l'arrêter pendant deux jours pour boucher les fuites qui devenaient plus considérables à mesure que le niveau baissait. En deux heures le navire commença à s'ébranler, et il fut conduit près du rivage où on l'échoua. Le batardeau fut alors enlevé et le vapeur put entrer à la cale de radoub.

Il aurait été intéressant de connaître le prix de revient de ce sauvetage, mais nous n'avons pu nous procurer aucun renseignement.

En abaissant convenablement le batardeau, ce système pourrait être employé dans le cas où les flancs du navire auraient été déchirés par une collision.

CHAPITRE XXXVII

PRIX (en francs).

Air comprimé (Travaux à l').

	Prix du m^3
Dérochement de la Rose à Brest	62,50
Fondation de la tour-balise de Lavezzi . . .	215
Reprise du mur de quai à Cette.	180

Améliorations des fleuves.

	Prix
Bas Weser (70 kilomètres).	37500000
dont 600000 francs pour acquisition de terrains	
Soit 550000 francs par kilomètre.	
Seine (43 kilomètres) avec les réfections. . . .	55000000
Soit 1300000 francs le kilomètre.	

Bassins à flot.

		Superficie m^2	Prix total f	Prix par hectare f
Saint-Nazaire .	Bassin de Saint-Nazaire. . .	10,50	10500000	1000000
	Bassin de Penhouet sans outillage.	22,20	22700000	1000000
Boulogne		6,86	6034000	875000
Bordeaux sans outillage		10,00	16831300	1700000
Marseille . .	Joliette	»	»	865000
	Bassin maritime . . .	»	»	800000
	Bassin national	40,80	21500000	576000
Havre. Bassin Bellot sans l'outillage		21,60	20500000	950000
Londres . .	East India-Dock.	18,00	11175000	860000
	Millwall-Dock.	14,00	6160000	440000
	Victoria-Dock.	33,50	16400000	490000
Hull. . . .	Albert-Dock	9,00	14000000	1530000
	Alexandra-Dock avec l'outillage et 2 bassins de radoub. . .	18,60	33000000	1840000
	Alexandra-Dock sans l'outillage et 2 bassins de radoub . .	»	8754000	950000 »
Avonmouth.		6,40	21600000	1370000
Glasgow, Queen's dock		13,50	9604000	1600000
Rochefort. Troisième bassin (tout compris) . .		6,50	4000000	1477000
Calais. Nouveau bassin		12,00	5500000	333000
Swansea. Prince of Wales.		11,70	178000000	470000
Buenos-Ayres		69,00	15600000	2550000
Barry . . .	sans l'outillage	30,00	23730000	520000
	avec l'outillage.			791000

Détails des dépenses.

Penhouet.

Acquisition de terrains.	1775000	
Digue de ceinture	600000	
Terrassements	4700000	
Ecluses à sas	3500000	
4 paires de portes métalliques.	1000000	
Murs de quais et perrés	5800000	
Pont roulant, prise d'eau, appareils hydrauliques	800000	
8 formes sèches.	3000000	
Bateaux-portes	700000	
Divers.	325000	
Frais généraux, etc.	500000	22700000 fr.

Bordeaux.

Acquisition de terrains.	2968900	
Bassins, écluses, formes de radoub . . .	9959000	
Ouvrages métalliques, portes, ponts, etc. .	1624000	
Déblais, dragages, enrochements. . . .	387400	
Pavage	711900	
Puits artésien	60400	
Bâtiments d'exploitation	83100	
Divers.	1035000	16831300 »

Havre (Bassin Bellot).

Terrassements, maçonnerie	12785400	
Ciment	2254300	
Pavage, empierrements	1596200	
Ouvrages métalliques	595500	
Appareils hydrauliques	444200	
Epuisement, divers, frais généraux . . .	2924100	20500000 »

Batardeaux

Batardeau en charpente et argile de Marseille.

Main-d'œuvre.

Dragages.	4343 »	
Forages dans l'emplacement des pieux. .	304, 50	
Battage des pieux	429 »	
Mesurage des écartements.	148, 50	
Pose des tirants.	439 »	
Mise en œuvre des bois.	5970, 45	
Préparation de l'argile.	7322, 20	
		18956, 65

Matériaux.

	Report . .	18 956, 65
188, 90 m^3 de bois à 60 francs	11 334 »	
18 850 kilogrammes de fer	9 425 »	
		20 759 »
Entretien, salaire d'un contremaître.		1 284, 35
		40 000, 00

Pour une longueur de 28,30 *m*, soit par mètre 1 413 francs.

Bateaux-portes.

	Largeur	Hauteur	par mètre de largeur
Hamilton	28, 65 *m*	12, 50 *m*	3 940 fr.
Biloela	27, 45	12, 00	15 730
Alexandra, Belfast . .	24, 40	8, 00	4 610
Calais	21, 00	11, 80	7 130

Béton (M. Sandeman).

Composition : 1 volume de ciment, 2 de sable, 5 de gravier.

1 mètre cube ciment pesant 1 350 kilogr. à 38 fr.,75 la tonne	52, 40
2 mètres cubes sable pesant 2 160 kilogr. à 3 fr.,10 la tonne	6, 80
5 mètres cubes gravier pesant 6 960 kilogr. à 3 fr.,40 la tonne	23, 80
	83, 00

8 mètres cubes de matières sèches qui par le brassage se réduisent de 33 %, soit :

5,36 m^3 de béton pour 83 francs.

1 mètre cube.	15, 50
Brassage et transport	4, 15
Maçonnage	1, 65
Eau et tuyaux	0, 25
Frais généraux	1, 10
Un mètre cube vaut	22, 65

Blocs artificiels.

(Boulogne), le mètre cube.

1° *Construction*. — Main-d'œuvre	4, 24		
Fourniture de pierre	4, 71		
» gravier	1, 07		
» ciment	5, 00		
Traction, fabrication du mortier, etc.	0, 38		
Entretien du matériel et fournitures diverses . . .	0, 74		
Surveillance, et	0, 12	16, 26	
2° *Mise en place*. — Main-d'œuvre	1, 18		
Levage et transport.	1, 15		
Matériel	0, 75		
Fournitures diverses	0, 93		
Surveillance	0, 75		
Eclairage.	0, 13	4, 89	21, 15

Report. . .			4,89	21,15
3° *Maçonnerie.* — Fournitures de pierre . .	4,80	7,20		
Fourniture de gravier	1,08			
» ciment rapide.	1,32			
Traction et broyeurs à mortier		0,95		
Main-d'œuvre		7,90		
Entretien du matériel, ateliers, etc.		0,80		
Surveillance, bureaux, etc.		1,50		
Eclairage.		0,20		
Service médical		0,05		
Divers.		0,60	19,20	
Ciment de Portland			6,65	25,85

Blocs de béton

Prix du mètre cube

Manora et Scarborough . .	25,00	Greenock	sous basse mer .	52,00
Newhaven	37,20		au-dessus . . .	35,00
Port-Saïd	42,00	Buckie	sous basse mer . .	33,00
Fraserburgh quai. . . .	28,30		au-dessus. . . .	25,00
Fraserburgh môle . . .	44,00	Sandhaven (en masse) . .		30,00
Fraserburgh coulé en place.	32,30	Fraserburgh		43,50

La pose a coûté par mètre cube 7,30 *f* à Manora et 1,35 *f* à Brest.

Brise-lames

Métallique de Dieppe . 183 884 francs, soit par mètre courant . 1 230 francs

Canaux

Manchester

Travaux (compris le matériel et l'indemnité aux chemins de fer, industriels, etc)	256 000 000 francs
Achat des autres canaux	45 000 000
» de terrains	33 000 000
Etudes et surveillance	4 000 000
Intérêts sur le capital	30 000 000
Dépenses devant le Parlement	4 500 000
Frais généraux	10 000 000
	382 500 000

Chalands

Chaland Millon employé à Saint-Jean-de-Luz . . . . 10 000 francs

CRIBS

Un crib en place à Milwaukee.

Dimensions : Longueur, 30,50 m ; Largeur, 7,30 m ; Hauteur, 6,80 m

378 mètres cubes de charpente en pin à 55 francs le mètre cube	21 790 francs
145 kilog. de boulons à 0,44 f le kilog	64
6 730 kilog. ferrures (barres rondes de 3 centimètres) à 0,33 f le kilog	2 220
1400 mètres cubes d'enrochement à 9,70 f	13 580
17 mètres cubes de madriers de 0,20 m sur 0,10 m à 29 francs le mètre cube	493
275 kilog. de pointes (25 centimètres sur 12 millimètres) à 0,44 f le kilog	121
Pose des 17 mètres cubes de madriers à 20 fr. le mètre cube.	310
1,44 m^3 de bordages de pin à 42 francs le mètre cube . . .	60
	38 668 francs

soit environ 1 260 francs le mètre courant.

Les autres dépenses du môle (substructure en enrochements, gros moellons de protection, superstructure, etc.) ayant été de 1 520 francs, dont 80 % pour l'enrochement, le prix total du môle a été de 2780 francs le mètre courant. La profondeur d'eau maxima est de 10,50 m.

Débarcadères

Wallasey Stage de Birkenhead . . . . 144 000 francs

Défense des côtes

	par mètre de longueur
L'Aiguillon	400 francs
Petits Pères	100
Maisonneuve	150
Scheveningue	1000
Nordeney	575
Borkum.	250
Scarborough	425
Spurn Point	92

Dérochements

		Prix du mètre cube
Palerme. .	Cube total 156 000 mètres. 800 grammes de dynamite brisaient 2,62 m^3	22,12
Tees. . .	100 000 mètres cubes rocs, oolite inférieure. . . .	7,10
Oswego . .	2 300 mètres cubes grès dur, en couches horizontales de 50 cm d'épaisseur	17,00

Dragages

Il est difficile de donner des prix comparatifs de dragages. Souvent les nombres indiqués ont pour but de faire valoir quelque système breveté.

Est également malaisée la comparaison des terrains; ceux désignés sous le même nom, comme sable et argiles, peuvent en réalité être très différents. Les sujétions du dragage (houle, exposition, passage de nombreux navires, etc.), qui influent notablement sur les prix de revient, ne sont d'ordinaire pas connues, et en tout cas ne peuvent être appréciées sans la connaissance des lieux. Les distances de transport, la faculté de jeter les déblais en mer ou l'obligation de les déposer à terre sont également des facteurs importants, ainsi que les profondeurs du dragage, etc. Il importe donc d'être très prudent sur les estimations. Il est utile d'avoir le plus de données possible; elles sont empruntées ici aux travaux les plus récents, car les dragues ont été très perfectionnées durant les dernières années; nous donnons aussi les conditions indiquées.

Il faut se rappeler que les travaux exécutés en régie doivent être majorés d'un coefficient triple, s'il s'agit de dragages à exécuter à l'entreprise, à cause des frais qui ne sont pas comptés dans les prix administratifs.

Tous les prix donnés ci-dessous sont ceux du mètre cube.

1° Dragues a godets

Swansea. — Dragage du nouveau chenal, 2 kilomètres de longueur, 61 mètres de largeur au plan d'eau, 46 mètres au plafond. Vase, argile et gravier, avec galets; transport en mer à 11 kilomètres. Volume extrait : 2 millions de tonnes, soit 1 million de mètres cubes.

Drague à double élinde porteuse. Prix, sans compter le capital, l'amortissement et les assurances : 70 centimes (salaires 28, remorquage 28, charbon 8, réparations 32 %).

Ayr. — Drague porteuse. Transport en mer à 5 kilomètres. Argile, galets, sable et vase. Chenal de 600 mètres de longueur sur 1,20 *m* de profondeur. Volume extrait : 40 000 mètres cubes.

Prix : 29 centimes (salaires 74, charbon 16, divers 10 %). Le travail

fait en 57 jours n'a exigé aucune réparation. Charbon à très bon marché ; il ne coûtait que 20 francs par jour pour un cube de 700 mètres.

Tyne. — Un million et demi de mètres cubes enlevés en 1886 par quatre dragues à double élinde porteuses.

Prix : 57 centimes, dont moitié pour le dragage et moitié pour le transport en mer.

Clyde. — Argile mêlée de galets. Transport en mer à 11 kilomètres. Drague porteuse de 350 chevaux.

Prix : 60 centimes à répartir également entre le dragage et le transport.

Danube, Bouches du Sulina. — Les prix ont varié de 30 à 53 centimes, dont 3/5 pour le dragage et 2/5 pour le transport à 3 kilomètres et demi. Dans les 3/5 du dragage, les opérations figurent pour un tiers.

Wesport, Nouvelle-Zélande. — Sables et galets; profondeur 8 mètres. Déchargement en mer. Cube extrait : 130 000 mètres cubes. Prix : 1,20 *f.*

Otago, Nouvelle-Zélande. — Même sol qu'à Wesport ; cube extrait : 1 600 000 mètres cubes. Déchargement tantôt en mer par drague porteuse, tantôt à terre par caissons et grues. Prix : 2 francs.

Tees. — Le mètre cube revient aujourd'hui à 50 centimes.

Bilbao. — Dépôt en mer à 16 kilomètres. Prix tout compris : 50 centimes.

Weser. — Dragage : 20 centimes ; transport par chalands à vapeur : 25 centimes.

Boulogne. — Dragage dans le chenal après dynamitage par des cartouches posées sur le banc. Roche tendre : 90 centimes. Sable : 55 centimes. Tout compris : 1,13 *f* (en régie).

Valence. — 70 centimes (Salaires, 21, charbon, 21, réparations, 25, divers, 4).

2° Clamshells

Oakland (Californie). — On a pendant 8 ans extrait 4 300 000 mètres cubes de vase, avec un matériel ainsi composé :

2 dragues clamshells, ayant coûté	200 000	fr.
1 remorqueur	125 000	»
4 chalands	100 000	»
2 bateaux-citernes	15 000	»
	440 000	»

La profondeur d'extraction était de 7,32 *m* et la distance de transport de 1 600 mètres ; le mesurage se faisait dans le chaland. Le prix du mètre cube s'est composé de :

Salaires	0, 246
Réparations	0, 110
Charbon	0, 096
Eau et vivres	0, 038
Divers	0, 003
	0, 493

Les chômages étaient très fréquents (la moitié du temps) à cause des grosses mers.

3° Dragues aspirantes

Danube, *Bouche de Sulina.* — Prix : 21 centimes, dont 1/3 pour les réparations.

Dunkerque. — Avec les Dunkerque, en régie. Dragages en mer. Prix : 20 centimes, dont 14 pour le dragage et 6 pour le transport à 5 kilomètres. Cube extrait : 500 000 mètres cubes annuels. Ce chiffre a été augmenté durant ces dernières années à cause de l'usure du matériel.

Barre des Charpentiers, *Loire.* — Prix : 30 centimes.

Bilbao. — Transport à 10 kilomètres en mer : 18,1 *c*.

Liverpool. — Avec le *Brancker* : 12 centimes. Transport en mer à 5 kilomètres.

Oakland. — Prix : 29 centimes, avec refoulement dans une conduite de 800 mètres.

New-York, *Chenal.* — Le prix était de 1,75 *f* à l'entreprise. Avec le même matériel acheté par le gouvernement : 80 centimes.

Galveston. — Avec le *Général Comstock* : 1,10 *f*.

Weser — Avec refoulement à 500 mètres : 25 centimes.

Kœnisberg, *Canal maritime.* — Profondeur, 5 mètres. Tout compris, dans le sable : 32 centimes. Argile : 66 centimes.

Pillau. — Extraction seule jusqu'à 11 mètres de profondeur. Terre sablonneuse : 34 centimes.

Saint-Nazaire. — Extraction de 360 000 mètres cubes de vase par an : 23 centimes.

Escaut. — Le prix du mètre cube, refoulé sur les rives par la drague aspirante, est de 32 centimes ; déversée dans le fleuve : 20 centimes, tout compris sauf les frais généraux.

Quand on a à refouler sur les rives, on est obligé d'organiser des chantiers, de faire des barrages, des rigoles, etc., qui augmentent les frais.

Le dragage de l'île Cazeau dans des bassins fermés par une lisière laissée tout le long de l'ancienne rive, a produit une économie qu'il importe de signaler.

Le dragage en bassin, mesuré au profil, était payé 98 centimes le mètre cube. Celui exécuté en rivière, compté au bateau, 1,64 *f*, prix qui est réellement de 2,46 *f* à cause de 50 % de foisonnement. La différence par mètre cube est donc de 1,48 *f*, représentant 6 millions de francs pour le cube de 4 millions de mètres extrait.

Eau comprimée

Le prix du mètre cube revient à Hambourg à . . . . 1,25 *f*

Echafaudages.

Prix d'une travée du pont de service d'Holyhead, par 15 mètres d'eau en basse mer.

105 mètres cubes de pin de Québec à 111 fr.50 .	11 730 fr.
4 570 kilogrammes de fer à 555 f.50	4 760 »
2 540 kilogrammes de rails à 250 francs . . .	635 »
Main-d'œuvre	1 560 »
	18 685 »

ÉCLUSES

La Pallice, sans les portes ni manœuvres, les deux ensemble	1 250 000	fr.
Le Havre, b. de la Citadelle, sans les portes	2 796 000	»
Canal Saint-Louis, sans les portes	3 741 650	»
Hull, Alexandra dock (167 × 25,50), sans les portes . . .	3 500 000	»
Calais, deux { 227 × 21 m / 227 × 14 m } ensemble	5 300 000	»
Dieppe, bassin de mi-marée, 30 × 18 m.	1 065 000	»
Dunkerque, écluse Trystram	3 500 000	»

Prix du mètre cube des murs.

Tamise (charpente et briques).	50 fr.	Hull, pierres.	67,50
» (pierres et briques). .	48 »	Portsmouth, pierres. 43,25 à	51,25
Sunderland, pierres. . . .	47 »	Southampton, briques . 50 à	75
Woolwich, »	120 »	Birkenhead » . . .	46,25
Avonmouth, »	33,50		

Epuisement.

Bassin Bellot, *au Havre*.

1° *Matériel.* — Six machines de 240 chevaux	109 324,53
Réparation des machines en magasin et entretien des machines	123 499,45
Neuf pompes centrifuges	10 988,25
Réparation des anciennes pompes. Entretien des pompes . .	31 879,00
Essais comparatifs de pompes.	7 924,43
Tuyaux, accessoires, outils pour l'atelier	62 008,87
Voies Decauville.	6 705,78
2° *Installation.* — Hangars, abris et ateliers.	47 113,46
Installation et dépôt des machines	88 067,16
Puisards	75 687,65
Aqueducs d'épuisement.	9 022,87
Plan incliné pour conduire les machines à la digue	1 733,73
3° *Exploitation.* — Charbon.	240 837,53
Eau et gaz	31 095,53
Fournitures diverses.	73 947,43
Personnel.	233 440,82
	1 162 276,30

Excavation.

Monmouth. — Tranchées boisées pour murs de quais de 3,30 à 3,70 *f* le mètre cube, jusqu'à 6 mètres de profondeur. Augmentation de 40 centimes par mètre cube par accroissement de 1,50 m de profondeur.

Grues

Grue de 160 tonnes de Malte avec les fondations. .	585 170 francs
» 150 » Hambourg sans les fondations.	175 000
Les grues mobiles de 1 500 kilog. valent environ . .	12 000
» » 2 500 » » » . .	13 à 14 000
» » 3 000 » » » . .	15 000

Hangars

Bassin Bellot

	par mètre carré
Hangars nord	de 37 à 43 francs
Hangars sud et ouest	45

Le prix du hangar de 37 francs se décompose ainsi :

Fondations			2,00
Superstructure	Charpente métallique	14,58	24,32
	Couverture	5,71	
	Voligeage.	2,88	
	Cheneau et descente	0,88	
	Peinture et vitrerie.	0,27	
Fermeture latérale	Charpente métallique	1,60	6,16
	Menuiserie	1,51	
	Ferrure des portes.	1,23	
	Peinture et vitrerie	0,48	
	Maçonnerie	1,34	
Divers	Egouts	0,39	1,52
	Pavage	0,24	
	Eclairage.	0,23	
	Divers.	0,66	
Frais généraux.			3,00
			37,00

Marseille. Gare maritime et Bassin National

Cinq hangars de 41 240 mètres carrés, dont 34 275 mètres carrés de surface intérieure, couverte et fermée. 1 855 588 francs, soit :

En tout.	45 francs
Surface fermée	54

Glasgow. Queen's dock, 18,30 *m* de largeur, le mètre courant : 880 francs 48

Sfax. Le mètre carré. 36

Jetées

Rotterdam.

	Prix total	Par mètre courant
Jetée nord	5,2 millions	2 600
1re jetée sud	7,4	3 225
2e jetée sud	1,4	870
Dunkerque		2 420
La Pallice { fondée à la marée		1 450
La Pallice { « en eau profonde		5 250
Adour, jetée métallique		3 300
Dunkerque, nouvelle jetée est (avec les démolitions et le dragage), 5,7		6 500
Calais, nouvelle jetée est		de 4 725 à 5 525
» (musoir)		11 625
La Houle sous Cancale (fer, maçonnerie et bois)		2 910

Location des Machines

Havre. — *Engins flottants.* — Par tonne :

Jusqu'à 5 tonnes : 4 francs. 1 franc de plus de 5 à 10 tonnes, de 10 à 15 et ainsi de suite. La location a lieu aussi par journée ou demi-journée, à 200 et 125 francs au-dessus de 10 tonnes, à 75 et 50 francs au-dessous. Le déplacement dans un bassin est payé 20 francs au-dessus de 10 tonnes, 25 francs au-dessus ; le passage d'un pont ou d'une écluse 40 et 50 francs.

(En dehors des jours et heures réglementaires, les tarifs sont doublés, pour toutes les machines).

Engins hydrauliques

	Grues			
	jusqu'à 1 500 *kg*	de 1 500 à 3 000 *kg*	plus de 3 000 *kg*	Treuils
Par jour	30 »	45 »	55 »	22 »
Par tonne	5 »	8 »	10 »	4 »

Les taxes ne comprennent aucune assurance ni garantie.

Magasins.

Les grands magasins coûtent environ 100 francs par mètre carré de plancher et par étage.

Manutention des Marchandises.

La manutention d'une tonne par grues hydrauliques revient de 55 à 65 centimes. Le prix d'un mètre cube d'eau sous pression étant d'à peu près à 60 centimes, et la dépense pour une tonne élevée à 10 mètres étant d'environ 50 litres, le prix de l'eau entre pour 3,5 *c*, et si l'on compte par tonne-mètre, le prix de l'eau sous pression serait donc de 35 centimes environ.

En Angleterre, la moyenne de nombreux ports a donné 42 centimes par tonne-mètre. Le prix varie de 23 centimes à Cotton's Wharf, à 49 centimes aux docks de Sainte-Katherine à Londres. Il est donc prudent de compter sur 45 centimes au moins pour la France.

Matériel complet de Construction.

Mormugao :

1 Titan de 45 tonnes.
2 Bardeurs de 45 tonnes.
1 Grue mobile de 25 tonnes.
2 Grues mobiles de 3 tonnes.
2 Locomotives.
14 Trucs de 45 tonnes.
20 Wagonnets.
6 Chalands à pierres, 2 bateaux pour les plongeurs, bateaux, etc.
Moules à blocs.
Machines du chantier à blocs.
1 Vapeur, 1 côtre.
Le tout pour 600 000 francs.

Môles et digues.

Dans le tableau suivant, le prix par mètre de profondeur désigne le quotient du prix du mètre courant par la profondeur moyenne aux hautes eaux.

	Longueur	Profondeur moyenne	Prix total	Prix par mètre de longueur	Prix par mètre de profondeur
	m	m	f	f	f
			Enrochements.		
Cherbourg	3 600	18	67 000 000	18 000	1 000
Holyhead	2 400	12	82 000 000	14 000	1 160
Portland	1 750	18	25 850 000	10 600	590
Plymouth	1 580	17	37 500 000	24 000	1 410
Kingstown	2 880	9	17 500 000	6 000	666
Brest	950	»	19 000 000	2 000	»
Alderney	1 420	24	27 400 000	19 300	800
Dublin (môle nord)	2 750	»	2 600 000	950	»
			Type d'Alger et Marseille.		
Marseille. Joliette	800	12	4 400 000	5 500	460
Marseille. Autres bassins	2 840	17	25 560 000	9 000	530
Bastia (Dragon)	150	12	825 000	5 500	460
Gênes. M. Galliera	1 500	22	16 500 000	10 500	475
Gênes. M. Giano	600	9	2 100 000	4 000	440
Alger	»	16	»	16 000	800
Boulogne (M. Carnot)	2 120	14	15 300 000	7 000	500
Cette (prolongement de la digue)	850	10	»	5 750	575
Barcelone	»	10	»	3 500	530
Carthagène, M. Navidad	150	»	1 650 000	11 000	»
			Assises inclinées.		
Manora	460	6	2 340 000	5 000	830
Madras	2 400	7	14 000 000	5 500	780
Colombo	1 280	»	5 760 000	4 500	»
Mormugao	360	8, 5	16 200 000	4 500	530
			Blocs artificiels pêle-mêle.		
Tynemouth. Nord	880	7	15 545 000	13 120	1 870
Tynemouth. Sud	1 640	7	10 086 000	6 150	888
Livourne (môle curviligne)	1 120	11	12 000 000	9 640	875
			Blocs-sacs.		
Newhaven	450	»	»	4 900	»
Aberdeen, Sud	320	7	1 700 000	5 350	750
Fraserburgh	»	5, 5	»	4 000	730
La Guaira	»	10, 5	»	»	4 000
			Assises régulières.		
Ijmuiden	3 000	6	26 250 000	8 750	1 490
Livourne, Vegliaia	480	13	2 180 000	12 500	550
Civita Vecchia, antemurale	400	22	5 000 000	12 500	550
Naples, prolongement de San Vincenzo	190	28	2 800 000	14 730	525
Anzio	1 150	2	300 000	260	130
			Divers.		
Douvres (Amirauté)	640	14	173 000	27 000	2 000
La Pallice	»	»	»	3 200	»

NOTES

Cherbourg. — Il a été fait de nombreuses expériences qui augmentent beaucoup le prix de cette digue ; elle reviendrait aujourd'hui à 13 000 francs le mètre courant.

Gênes. — On a obtenu par mètre cube les prix suivants :

Enrochement	2 »
Blocs artificiels	28, 50
Maçonnerie ordinaire.	18, 85

Ce sont des prix très bas, dus en partie au voisinage et à la facilité de l'exploitation des carrières situées dans le port lui-même, de sorte que tous les transports se sont effectués par eau, et en partie au bon marché et à l'habileté de la main-d'œuvre.

Holyhead. — La superstructure coûte 3 000 francs par mètre courant, ce chiffre est compris dans le prix indiqué.

Rosslare. — En admettant la pose de 3 350 mètres cubes par an et l'amortissement en dix années du matériel, qui a coûté 50 000 francs, la part à attribuer à chaque mètre cube est donc de 1,50 *f* environ. Les autres dépenses sont par mètre cube.

Fabrication des blocs, matériaux et main-d'œuvre . .	17 »
Transport et mise en place	3, 80
Coût de l'échafaudage	3, 80
Port du matériel	1, 50
	26, 10

La pierre et le sable étaient extraits à 15 kilomètres de distance.

par Épuisement

	Hauteur *m*	Prix du mètre courant *f*	
Dunkerque, bassin Freycinet	12, 65	1 572	
Calais, avant-port . . .	13,80-19,11	3 385	Quai nord.
		3 608	Quai sud.
Dieppe, bassin à flot . .	10, 50	1 277	
» » de mi-marée	11, 50	1 524	
Le Havre, anse des Pilotes	7,75-9	1 887	Epuisement, non compris les déblais.
» mur nord . .	7, 75	2 612	Epuisement, non compris les déblais.
» quai de l'Ile .	7, 50	1 731	Epuisement, non compris les déblais.
» quai Boström .	9, 50	1 196	Epuisement, non compris les déblais.
» annexe et avant-port . . .	9, 35-10, 15	2 795	Tout compris.
» bassin de l'Eure quai nord .	10, 50	975	
» bassin de l'Eure quai ouest .	11, 45	2 093	
» bassin de l'Eure quai est . .	11, 50	1 528	
» bassin Bellot .	13	2 547	Havage.
		1 675	
» mur nord du garage . .	9, 80	1 300	Epuisement.
» sas de Tancarville . . .	10, 60	7, 28	»
Rouen	5, 46-6, 94	2 808	Caissons en charpente.
Saint-Malo, quai du barrage	9, 42	1 600	Béton coulé dans une enceinte.
» quai Duguay-Trouin.	9	1 800	Béton coulé dans une enceinte.
Quimper.	5-5, 50	167	Fondations en blocs artificiels d'un mètre cube.
Douarnenez.	4, 6-6, 8	148-179	Noyau en pierres sèches avec revêtem' maçonné.
Saint-Nazaire, bassin de St-Nazaire, quai de la Marine.	6, 92	402	Digue d'enceinte.
Saint-Nazaire, quai de la Vieille-Ville	8, 35	540	»
Saint-Nazaire, quai des Frégates	9, 92	563	»
Saint-Nazaire, Penhouët, q. des Grands-Puits sud	10, 60	2 000	
Saint-Nazaire, Penhouët, q. des Grands-Puits nord	10, 60	5 477	

MURS DE QUAIS *(suite)*

par Épuisement

	Hauteur m	Prix du mètre courant f	
Saint-Nazaire, Penhouët, quai des cales de radoub.	10, 60	1 132	Sur piles.
Saint-Nazaire, Penhouët, quai de Méan . . .	»	684	»
Sables-d'Olonnes, q. N. et E.	7, 18	850	Enceinte.
» q. S. et O.	7, 18	600	»
» q. Guinée.	12,47-15,47	410	Havage.
Gênes		1 250	
Hull, Albert-Dock. . .	12	1 620	
Glasgow.		2 500-4 300	Havage.
Sfax	7, 80 8, 80	650 1 000	Blocs artificiels.
Hambourg, bassins maritimes		1 420	
Hambourg, Segelschiffhafen		1 370	
Hambourg, Zoll-Canal .		1 250	
Canal Baltique, Brünsbuttel		2 250	
Canal Baltique, Holtenau.		3 500	
Hull, Alexandra-Dock .	19	2 300	
Cork	12, 20	3 240	Havage.
Mormugao		2 050	Blocs artificiels.
La Pallice	9, 40-12	410	Simple revêtemt du rocher.

à l'air comprimé

Bordeaux	19, 40-25	4 250	Non compris les dépenses en régie et les dragages.
» Cale du Médoc	»	4 760	Non compris les dépenses en régie et les dragages.
» » Lucien-Faure		1 520	Non compris les dépenses en régie et les dragages.
Dunkerque, avant-port	15-17	3 668	Tout compris.
La Pallice, quai ouest .		4 535	

Quais de Cork. — *Détails par mètre courant.*

Terrassements.

Fouilles, 178 mètres cubes à 1,65 *f*	295
» par plongeur, 4,3 m^3 à 44,40 *f*	191
Comblement derrière le mur, 118 mètres cubes à 2,45 *f* .	290-776

Blocs.

Béton des blocs, 31 mètres cubes à 30 francs	910
Pose des blocs à 4 francs le mètre cube	124
Remplissage des liens, ajustage des blocs supérieurs. .	42-1076

Superstructure.

Parement en maçonnerie sur 60 centimètres, 4,60 m^2 à .	390
Adossement en béton, 8 mètres cubes à 30 francs. . .	240
Couronnement en granite, 27 mètres cubes à 6,65 *f*. .	180-810
Macadamisage.	41
	2703
Divers 10 °/ₒ . .	270
	2973
Part dans l'achat et les réparations du matériel. . . .	267
	3240

Outillage hydraulique.

Bassin de la Gare Maritime et Bassin National, Marseille.

27 grues mobiles { 16 de 1250 kilogrammes, 8 de 1 et 3 tonnes, 3 de 3 tonnes.

3 treuils mobiles d'une tonne,
38 cabestans de 800 kilogrammes,
1 bigue de 120 tonnes,
3 machines de compression dont deux de 97 chevaux et une de 30 chevaux.
Canalisations sur 3 857 mètres de quais,
Dépense : 1 880 000 dont 225 000 pour la bigue.

CALAIS

Canalisation	230 000
Grues fixes.	60 000
12 grues mobiles	180 000
6 treuils.	24 000
Voies ferrées des grues	150 000
Bâtiments et ateliers.	46 000
Machinerie centrale	160 000
Accessoires divers.	50 000
	900 000

Les dépenses annuelles d'entretien et d'exploitation ont été prévues à 169000 francs dont au moins 150000 pour les 12 grues mobiles et les 6 treuils.

Phares.

	Hauteur	Prix total	Prix par mètre de hauteur	Prix par mètre cube
		f	f	f
Métalliques.				
Roches Douvres	48	605 357	12 610	»
Nouvelle Calédonie (prix à Paris)	45	228 706	5 080	»
Port-Vendres	»	59 489	»	»
				»
En maçonnerie.				»
				»
Planier { la tour	56, 50	215 600	3 820	»
Planier { complète	»	475 000	16 190	»
Triagoz	18, 55	300 000	14 120	»
La Benche	26, 50	374 280	8 450	»
Le Creach'	43, 00	363 596	7 760	»
Contis	36, 50	283 681	»	»
Grand Rouveau	»	104 896	»	»
Ar-Men	»	»	»	856
La Vieille	22, 50	520 000	»	612
Grands Cardinaux	25, 05	148 000	»	»
Le Four (la tour)	22, 70	256 000	»	280
Grand Charpentier	24, 55	301 782	»	»
Bell Rock nouveau	»	1 400 000	»	1 715
Skerryvore	»	1 805 000	»	1 078
Dhu Heartach	»	1 814 625	»	1 510
Eddystone	»	1 481 375	»	795
Great Basses (Ceylan)	»	1 550 000	»	1 205
Tours balises.				
Lavezzi	»	92 000	»	»
Le Soulard	»	4 575	»	77
Trois Pierres { Tourelle	»	15 357	»	94, 30
Trois Pierres { Fondations	»	18 016	»	84, 60
Feu flottant.				
Ruytingen { Bateau . . . 185 000	»	270 000	»	»
Ruytingen { Optique . . . 25 000	»		»	»
Ruytingen { Signaux sonores 50 000	»		»	»
Ruytingen { Divers . . . 10 000	»		»	»
Feux de port.				
Isigny	17, 50	9 530	»	»

Balise lumineuse de Boulogne.

Balise et accessoires	7 100	11 000 *f*
Accumulateur	2 340	
Transport, montage	1 560	

Exploitation. — Par heure d'éclairage : Huile avec tous les frais de transport, etc., etc, 5 centimes. Gardien 28 centimes. Total : 33 centimes.

Signal sonore de Boulogne.

Installation du bâtiment	4 200 *f*
Travaux pour le gaz du moteur	6 200
Appareil sonore	25 600
	37 000

Pilotis.

Newport. — De 105 à 120 francs le mètre cube suivant leur position.

Ponts.

	Longueur à franchir	Prix	
		Total	Par mètre à franchir
	m	f	f
Ponts roulants.			
Saint-Nazaire.	25,00	250 000	10 000
Anvers, Kattendijk	27,50	290 000	10 545
Saint-Malo	18 »	200 000	11 000
Pont pliant.			
Greenock	31,00	300 000	9 675
Ponts tournants.			
Brest, Penfeld	118	2 118 735	18 110
Marseille, pont tournant et levant. .	21,50	316 000	14 835
Dunkerque, écluse Trystram (sans la machinerie	25,00	120 000	4 800
Dieppe, Pollet.	40,00	530 000	13 250
Saint-Malo, chariot	90 »	45 000	500

Détails :

Penfeld.	Maçonnerie.	698 743
	Volées métalliques	1 180 290
	Cintres, montage des volées .	119 710
	Ouvrages accessoires des volées	54 427
	Divers	65 665
		2 118 735

Marseille, Pont levant et tournant	Pile de fondation. . .	66 000
	Travée	250 000
		316 000

Saint-Malo. Pont roulant	Pont avec lest. . . .	85 000
	Chevêtre	12 000
	Presse de soulèvement .	15 000
	Appareils de translation.	15 000
	Galets avec les appareils.	47 000
	Butées	2 000
	Récupérateur	21 000
	Distribution, tuyautage .	3 000
		200 000

Dieppe, le Pollet	Maçonneries	89 900
	Tablier métallique	224 145
	Mécanisme.	191 120
	Surveillance	24 835
		530 000

Ports.

Tampico.

Frais préliminaires	16 497
» généraux	312 647
Emoluments des ingénieurs	385 662
Construction des jetées	10 245 937
Bureaux et logements	67 437
Dragages	505 333
Terrains	220 491
Voies ferrées	1 198 759
Quais et magasins	263 900
Intérêts intercalaires.	1 785 510
Dépenses subsidiaires	9 114
	15 011 287

Westport.

Matériel	1 763 937
Môle occidental	3 106 835
» oriental	1 265 227
Dragages	822 366
Quais et installation pour l'embarquement du charbon	505 000
	6 963 365

Libau.

De l'expérience acquise dans la construction du port militaire de Libau on a tiré les conclusions suivantes :

1° La construction d'un môle à faces verticales, s'étendant du rivage jusqu'à la profondeur de 9 mètres, n'excède pas le prix de 4 150 francs le mètre courant.

2° Le prix d'une digue à la profondeur de 9 mètres en blocs de béton, avec musoirs verticaux, est d'environ 7 900 francs le mètre courant.

3° Môle et digue peuvent être construits à raison de 850 mètres courants par an.

L'expérience d'autres ports prouve que la dépense d'un bassin de 9 mètres de profondeur et 425 mètres de largeur, avec ses quais, ne coûte pas plus de 9850 francs le mètre courant, et qu'on en peut construire 1 050 mètres par an.

4° La valeur d'un port artificiel comme celui de Libau, de 480 hectares de superficie, n'excède pas celle d'un cuirassé, et il peut être construit plus rapidement.

On voit qu'une telle dépense est largement justifiée par la protection qu'elle assure à une flotte entière.

Portes d'écluses.

	Prix	Largeur	Hauteur	Surface	Prix par mètre carré
Bois.					
Le Havre, Portes des transatlantiques .	417 595	30,50	9,80	299	1390
» Portes du dock	115 000	16	9	144	800
» » du Bassin de l'Eure. .	106 000	16	7,64	122	872
Fécamp	112 262	16,50	10	165	680
Saint-Nazaire	220 000	25	10	250	880
»	50 000	13	8,62	112	445
Boulogne	163 050	21			
Liverpool (Canada)	180 000	30,50			
Avonmouth.	145 000	22	14,65	313	435
Hull, Alexandra dock.	116 000	15	12	180	645
Monmouth	36 600	8,90	9,10	81	450
Fer.					
Dunkerque, Bassin Freycinet	62 000	21	8,45	117	350
Saint-Nazaire	250 000	25	10	250	1000
»	83 976	13	8,62	112	750
Boulogne.	144 688	21			
Londres, S. W. India Docks	100 000				525
Dunkerque, écluse Trystram.	840 000	28	12,05	337	230
Boulogne, nouvelles portes	142 000	24,56	9,57	235	600

Détails.

Avonmouth. — Ces portes ferment une passe de 22 mètres et ont 14,65 *m* de hauteur (la marée atteint cette élévation). La surface de la section est donc de 323 mètres carrés. La forme en arche et la saillie du busc font que la surface des portes est de 460 mètres carrés.

Les prix *par mètre cube de bois* (chêne, greenheart et pitch-pin) ont été :

Prix du mètre cube net de bois	108, 45
Main-d'œuvre de construction	112, 00
Mise en place	50, 15
Assemblages en fer et boulons	85, 10
Ancrages, vannages, deux jeux de rouleaux avec leurs voies, pivots, boîtes de la chaîne (sans le travail de maçonnerie)	106, 65
Epuisement, personnel de surveillance, divers. . .	45, 55
	507, 90 *f*

Quantité de bois employée pour une paire de portes, 275 mètres cubes, soit environ 140 000 francs.

ou par mètre carré { de l'entrée . . . . . 435 francs
ou par mètre carré { des portes . . . . . 340 »

Protection des talus des canaux.

Manchester { fascinages . . . . le mètre carré 3 francs
Manchester { perreyage 3

Radoub (Bassins de).

	Longueur	Largeur de la chambre	Hauteur d'eau sur le seuil	Prix	Prix par mètre de longueur
Cherbourg				220 000	
La Spezzia				1 950 000	
Saint-Nazaire { 1.	140	25		ensemble	
Saint-Nazaire { 2.	120	13		2 938 000	
Saint-Nazaire { 3	164	18			
Calais nouveau.	150	21		2 700 000	18 000
Anvers	123	15	5, 18	800 000	6 500
Lyttelton, Nouvelle-Zélande . .	135	19	8, 50	1 975 000	14 600
Somerset, Malte	143			3 750 000	26 200
Table Bay	150			3 900 000	26 000
Biloela, Australie	177	27, 45	9, 75	6 750 000	38 000
Alexandra, Belfast	244	24, 40	7, 62	3 754 000	15 300
Alexandra, Hull (les deux avec l'outillage.	152 et 167			3 300 000	
Havre. Forme n° 5	130	30	7	4 383 000	33 700
Rochefort	126			2 300 000	18 200
Les n°s 1 et 2 de Missiessy, chacun.				3 500 000	
Bassin en bois					
Baltimore	133			1 680 000	12 600

Radoub (appareils de).

San Francisco, élévateur, 128 mètres	2 000 000
Philadelphie, un dock et deux slips de 90 mètres	4 075 000
Slip en travers Rouen (95 mètres) 740 000 par mètre	18 000
Forme Clark et Stanfield de Nicolaïeff	2 500 000

(Les prix de ces formes varient de 1 million à 2 400 000 francs pour des navires de 1 000 à 4 000 tonneaux).

Cales de halage.

Seyne	Pour navires de 800 tonneaux	155 000
	» 200 »	60 000
Slips à relevée pour vapeurs de 2 000 tonneaux		600 000

Cale de halage sur l'Hoogly. — Longueur de la voie : 190 mètres; la niveau inférieur est à 25 *cm* au-dessous du zéro. Amplitude de la marée : 6 mètres environ pour vapeurs de 800 tonnes de faible calaison : Dépenses :

Terrassements	8 300 roupies.
Maçonneries	24 000 »
Ballast	6 000 »
Charpente	25 000 »
Ferronnerie	18 000 »
Batardeau	6 000 »
Machines	17 300 »
Divers	2 700 »
	107 300 roupies.

La roupie peut être comptée à 2 francs, ce qui fait une dépense de 214 600 francs ou 1130 francs par mètre de longueur.

Slip Labat à Rouen.

Terrassements	40 000 fr.
Fondation et chemin de roulement	240 000 »
Berceau	180 000 »
Appareils de traction	220 000 »
Machine motrice et hangar	60 000 »
	740 000 fr.

Tins.

Alexandre Dock, Belfast (métalliques). — L'un : 131.

Liste des Figures du texte

TABLE DES MATIÈRES

Table analytique des Matières

A

B

D

E

F

J

K

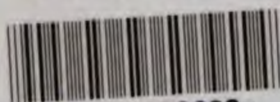
L

M

Courbevoie. — Imprimerie E. Bernard et Cie, 14, rue de la Station.
Bureaux : 29, Quai des Grands-Augustins. — Paris.


b89090503608a




89090503608
b89090503608a